



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JOÃO PEDRO CHACON PEREIRA

**QUALIDADE DO TRIGO PRODUZIDO COM DOSES DE
ENXOFRE ELEMETAR NANOPARTICULADO ASSOCIADO
COM AMINOÁCIDOS APLICADOS VIA FOLIAR**

Londrina
2024

JOÃO PEDRO CHACON PEREIRA

**QUALIDADE DO TRIGO PRODUZIDO COM DOSES DE
ENXOFRE ELEMENTAR NANOPARTICULADO ASSOCIADO
COM AMINOÁCIDOS VIA FOLIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr^a. Inês Cristina de Batista Fonseca

Co-orientador: Prof. Dr^a. Gabriela Machineski da Silva

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

P492q PEREIRA, JOÃO PEDRO CHACON PEREIRA.
QUALIDADE DO TRIGO PRODUZIDO COM DOSES DE ENXOFRE ELEMETAR NANOPARTICULADO ASSOCIADO COM AMINOÁCIDOS APLICADOS VIA FOLIAR / JOÃO PEDRO CHACON PEREIRA PEREIRA. - Londrina, 2024.
127 f. : il.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca Fonseca.
Coorientador: Gabriela Machineski da Silva Silva .
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Qualidade de grãos e qualidade de sementes para a produção de trigo com aplicação via foliar de enxofre elementar e seu efeito associado a aminoácidos. - Tese. I. Fonseca, Inês Cristina de Batista Fonseca. II. Silva , Gabriela Machineski da Silva. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

JOÃO PEDRO CHACON PEREIRA

**QUALIDADE DO TRIGO PRODUZIDO COM DOSES DE
ENXOFRE ELEMENTAR NANOPARTICULADO ASSOCIADO
COM AMINOÁCIDOS VIA FOLIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Inês Cristina de Batista
Fonseca
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Adonis Moreira
Embrapa Soja

Prof. Dr. Luiz Henrique Campos de Almeida
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2024.

“A persistência é o caminho do êxito.” (Charles Chaplin).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela oportunidade de cursar o mestrado. Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) por fornecer a estrutura e o conhecimento de seus docentes para a realização do curso.

Ao CNPQ pela bolsa concedida, que foi de muita importância.

A minha orientadora prof^a. Dr^a. Inês Cristina de Batistia Fonseca, obrigado pela orientação no trabalho, compreensão e também pela amizade. Sempre disposta, com muita energia e alegria para solucionar problemas e dar conselhos.

Minha coorientadora prof^a. Dr^a. Gabriela Machineski da Silva, por ter me orientado na conclusão do meu trabalho, sendo sempre muito solícita, com muita vontade de me ensinar e disponível, procurando sempre acrescentar experiências a minha carreira.

Ao prof. Dr. Claudemir Zucareli, que também foi essencial em minha orientação sendo quem abriu as portas para a o mestrado e conseqüentemente para o mundo da pesquisa, sempre muito disposto para ajudar na formulação de trabalhos e ida a eventos acadêmico.

Ao prof. Dr. André de Ferreira Sampaio, por estar sempre a disposição tanto nas disciplinas, tirando dúvidas, me aconselhando tanto em relação a meu trabalho escrito, como em minhas apresentações orais, contribuindo na minha evolução como acadêmico.

Ao prof. Dr. Marcelo Augusto Aguiar e Silva, pela amizade, conselhos e pelas oportunidades que tem me dado de proferir palestras em suas turmas de graduação.

E a todo corpo docente da UEL, que sempre me ajudou em tudo que precisei em minha jornada.

Agradeço a minha família, que sempre esteve a disposição para me ajudar em todos os sentidos possíveis quanto financeiro, emocional. Em especial minha mãe e meu irmão que sempre estiveram a disposição para tudo que precisei, aconselhando e incentivando minha caminhada, sendo um grande suporte para tudo.

Meu pai pelo modelo de homem e pessoa que foi para mim, sendo até hoje um dos maiores exemplos da minha vida de força e de ombridade, obrigado por tudo que representou e representa na minha vida.

A minha namorada Vitória Bermejo por estar sempre comigo sendo uma pessoa que me incentivou a continuar, me dando forças, me aconselhando e acompanhando em tudo que precisava.

E a meus amigos que me ajudaram na condução do meu trabalho, me incentivando e aconselhando, em especial Leticia Beluzzo, José Milton Faria, Luiz Henrique Dutra e Felipe Vacario.

Agradeço a equipe Sedeagro, em especial ao Luis Anselmo Zanotti, pela aprendizagem, conselhos e apoio durante esse período.

E finalizando com a empresa Nutriten, devido a todo o apoio financeiro com a oferta de infraestrutura e matéria prima para a execução de ensaios, que tornou minha experiencia nesse período muito positiva, em especial Marcelo Suzin que deu todo apoio para continuar o trabalho.

RESUMO

PEREIRA, João Pedro Chacon. **Qualidade do trigo produzido com doses de enxofre elementar nanoparticulado associado com aminoácidos via foliar.** 2024. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2024.

A cultura do trigo é base para alimentação de diversos países, sendo fonte de energia e nutrientes. Assim, é de extrema importância a produção de uma matéria prima de qualidade. A qualidade do grão se estabelece desde a instalação do campo com sementes de qualidade, possuindo alto potencial fisiológico (vigor e germinação), bem como na escolha do manejo nutricional. Para isso, existem alternativas de suplementar via foliar os nutrientes e aminoácidos que podem estar limitados por vários motivos, como o ambiente, aplicação de agroquímicos entre outros. O enxofre (S) e aminoácidos estão diretamente ligados com a qualidade do grão e da semente de trigo, por fazer parte da formação de proteínas, macromoléculas complexas e essenciais, que são de extrema importância para as funções fisiológicas das plantas. Assim, o objetivo do trabalho foi verificar a qualidade de grãos e qualidade de sementes para a produção de trigo com aplicação via foliar de enxofre elementar (S⁰) e seu efeito associado a aminoácidos. Foram realizados dois experimentos distintos um visando a qualidade da produção de grãos e outro a qualidade para a produção de sementes, foram conduzidos em distintas localidades em duas safras: na safra de 2022 em Londrina-PR e em Sertaneja-PR, e na safra de 2023 em Londrina-PR e em Faxinal-PR, totalizando quatro ambientes. O delineamento experimental em cada localidade foi em blocos inteiramente casualizados (DBC) em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, sendo os fatores: cinco doses de S⁰ (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associadas ou não com aminoácidos (250 ml ha⁻¹). Para o trabalho que visava a qualidade de grãos, foram avaliadas as seguintes características de componentes de rendimento: espigas por metro quadrado, grãos por espiga, massa de mil grãos, peso hectolitro, produtividade em quilos por hectare e características químicas dos grãos, assim foram análises de proteína bruta, macronutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes minerais (Cu, Fe, Mg e Zn). Já o segundo trabalho que foi avaliado a qualidade de sementes: primeira contagem de germinação, germinação, índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento de parte aérea e raiz e massa seca de parte aérea e raiz. Os dados foram submetidos as análises de normalidade e homogeneidade dos erros, atendidos os pressupostos foram feitos às análises de variância e regressão (p<0,05). Os resultados do experimento que visada a qualidade de grãos, observou significância para o efeito isolado de doses de S⁰ para a variável número de grãos por espiga (NGE) em Londrina (2022) e para teor de Ca nos grãos em Sertaneja-PR, em ambos os casos o seu estudo de regressão foi observado um resultado linear decrescente, verificando que quando maior a dose de S⁰, menor foi o número de grão por espiga e menor foi o acúmulo de Cálcio nos grãos. Já para o efeito isolado do tratamento com aminoácido para a variável

número de grãos por espiga (NGE) em Londrina (2022) e para a característica química dos grãos: teor de Cálcio em Sertaneja-PR, em ambos os casos foi observado um melhor resultados para o tratamento com aminoácidos, com sete espiga a mais e 0,26 g a mais que a testemunha aplicada sem aminoácidos. Já para o experimento que visava a qualidade fisiológica de sementes, foi observado significância para o efeito do tratamento com doses de S^o apenas para o parâmetro primeira contagem de germinação em Sertaneja-PR, que em seu estudo de regressão foi observado um resultado linear crescente, verificando um melhor vigor da planta com as maiores doses de S^o. Dessa forma podemos concluir que a aplicação de e aminoácidos nas condições do local estudado não resultaram uma melhor qualidade de grãos nem de sementes.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; Nutrição de plantas; Componentes produtivos; Germinação; Vigor.

ABSTRACT

PEREIRA, João Pedro Chacon. **Quality of wheat produced with foliar doses of nanoparticulate elemental sulphur associated with amino acids**. 2024. Master's thesis in Agronomy - State University of Londrina, Londrina-PR, 2020.

Wheat is a staple food crop in many countries and a source of energy and nutrients. It is therefore extremely important to produce quality raw materials. The quality of the grain is established from the moment the field is planted with quality seeds that have a high physiological potential (vigor and germination), as well as in the choice of nutritional management. To this end, there are alternatives for foliar supplementation of nutrients and amino acids that may be limited for various reasons, such as the environment, application of agrochemicals and others. Sulphur (S) and amino acids are directly linked to the quality of wheat grain and seed, as they are part of the formation of proteins, complex and essential macromolecules that are extremely important for the physiological functions of plants. The aim of this study was to verify the quality of grain and seed for wheat production with foliar application of elemental sulphur (S⁰) and its effect associated with amino acids. Two different experiments were carried out, one aimed at grain production quality and the other at seed production quality. They were conducted in different locations in two harvests: in the 2022 harvest in Londrina-PR and Sertaneja-PR, and in the 2023 harvest in Londrina-PR and Faxinal-PR, totaling four environments. The experimental design in each location was entirely randomized blocks (DBC) in a 2x5 factorial scheme, with four replications, the factors being: five doses of S⁰ (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associated or not with amino acids (250 ml ha⁻¹). For the study aimed at grain quality, the following yield component characteristics were assessed: ears per square meter, grains per ear, thousand-grain mass, hectolitre weight, yield in kilograms per hectare and chemical characteristics of the grains, including analyses of crude protein, mineral macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) and mineral micronutrients (Cu, Fe, Mg and Zn). The second study assessed seed quality: first germination count, germination, emergence speed index (ESI), shoot and root length and shoot and root dry mass. The data was subjected to analysis of normality and homogeneity of errors, and once the assumptions were met, analysis of variance and regression were carried out (p<0.05). The results of the experiment aimed at grain quality showed significance for the isolated effect of doses of S⁰ for the variable number of grains per ear (NGE) in Londrina (2022) and for Ca content in the grains in Sertaneja-PR, in both cases the regression study showed a decreasing linear result, verifying that the higher the dose of S⁰, the lower the number of grains per ear and the lower the accumulation of Calcium in the grains. As for the isolated effect of the amino acid treatment for the variable number of grains per ear (NGE) in Londrina (2022) and for the chemical characteristic of the grains: calcium content in Sertaneja-PR, in both cases better results were observed for the amino acid treatment, with seven more ears and 0.26 g more than the control applied without amino acids. As for the experiment aimed at the physiological quality of the seeds, the effect of the treatment with doses of S⁰ was only significant for the first germination count parameter in Sertaneja-PR, where the regression study showed an increasing linear result, verifying better plant vigor with the higher doses of S⁰. We can therefore conclude that the application of amino acids in the conditions of the location studied

did not result in better grain or seed quality.

Key-words: Triticum aestivum; Nutrition of plant; Force; germination; Productive components.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Escala fenológicos da cultura do trigo, de Zadosk, (Fonte: adaptado de ROBENS TOLEDO, 2023).22
- Figura 2:** Diagrama de representação das fases de desenvolvimento da planta de trigo (*Triticum aestivum* L. cvs BR 23 e BR 35). Destaque para as temperaturas basais e somas térmicas nas respectivas fases de desenvolvimento. Fonte: RODRIGUES (2011).24
- Figura 3:** Representação da estrutura geral dos aminoácidos a pH neutro (Fonte: Próprio autor).47
- Figura 4:** Estrutura dos vinte aminoácidos que compõem proteínas (Fonte: Próprio autor).48
- Figura 5:** Esquema de Hidrólise de proteínas (Fonte: Próprio autor).50
- Figura 6:** Esquema do Tratamento Térmico e Enzimático do Colágeno. (Fonte: KOUGUCHI, 2012).51
- Figura 7:** Produção do glutamato de monossódico, Fonte: Cibele Rosalin).52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Caracterização Química dos solos utilizados no experimento nos municípios de Londrina-PR, Sertaneja-PR e Faxinal-PR. 2022/2023. Interpretação feita de acordo com Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2006).....65
- Tabela 2:** Perfil de aminoácidos e de aminoácidos livres presentes no produto produzido a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno).66
- Tabela 3:** Teores de referências dos resultados da análise de tecido vegetal da cultura do trigo, adaptado de Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (adaptado de Pauletti, 2017).72
- Tabela 4:** Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.73
- Tabela 5:** Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022.75
- Tabela 6:** Resumo da análise de variância para as características de peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023.....77
- Tabela 7:** Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.78
- Tabela 8:** Efeito isolado do fator dose de enxofre elementar sobre a variável número de espiga. Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.80
- Tabela 9:** Resumo da análise de variância para as características químicas dos grãos: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Teor de Proteína Bruta do Grãos (TP). Análise feita dos experimentos de Londrina-Pr e Sertaneja-Pr da safra de 2022 e de Londrina-PR e Faxinal-PR da safra de 2023.....85
- Tabela 10:** Interpretação da análise química de nutrientes dos grãos utilizando os

índices preconizados pelo manual de adubação de calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2004).....88

Tabela 11: Caracterização química dos solos utilizados no experimento nos municípios de Londrina-PR, Sertaneja-PR e Faxinal-PR. 2022/2023. Interpretação feita de acordo com Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2006).....96

Tabela 12: Perfil de aminoácidos e de aminoácidos livres presentes no produto produzido a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno).97

Tabela 13: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022. 104

Tabela 14: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022..... 105

Tabela 15: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023. 107

Tabela 16: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023..... 107

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1:** Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2022, diário. Londrina-PR. 2023.....70
- Gráfico 2:** Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Faxinal, no período experimental da segunda safra do ano 2023, diário. Londrina-PR. 2024.....70
- Gráfico 3:** Efeito isolado do fator doses de enxofre sobre a variável número de grãos por espiga. Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.....74
- Gráfico 4:** Efeito isolado do fator aminoácido sobre a variável número de espiga por planta. Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.79
- Gráfico 5:** Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2022, diário. Londrina-PR. 2023..... 101
- Gráfico 6:** Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2023, diário. Londrina-PR. 2024..... 101
- Gráfico 7:** Regressão polinomial do desdobramento do efeito isolado do fator doses de enxofre elementar (S), para a variável primeira contagem de germinação. Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022..... 106

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	TRIGO: ASPECTOS GERIAS.....	18
2.1.1	<i>Aspectos histórico e econômicos do Trigo</i>	18
2.1.2	<i>Fenologia do Trigo</i>	20
2.1.3	<i>Ecofisiologia do Trigo</i>	22
2.1.4	<i>Utilização do Trigo</i>	28
2.2	ADUBAÇÃO	29
2.2.1	<i>Adubação aspectos gerias</i>	29
2.2.2	<i>Adubação foliar</i>	35
2.3	ENXOFRE.....	36
2.3.1	<i>Importância do Enxofre</i>	36
2.3.2	<i>Enxofre no Solo</i>	37
2.3.3	<i>Assimilação de Enxofre pelas Culturas</i>	38
2.3.4	<i>Adubações com Enxofre</i>	39
2.3.5	<i>Fontes de Enxofre para as Culturas</i>	40
2.3.6	<i>Deficiência de Enxofre</i>	42
2.3.7	<i>Enxofre nos Componentes Produtivos</i>	42
2.3.8	<i>Enxofre na Qualidade Fisiológica de Sementes</i>	44
2.4	AMINOÁCIDOS.....	46
2.4.1	<i>Importância dos aminoácidos</i>	46
2.4.2	<i>Aplicação Industrial dos aminoácidos</i>	49
2.4.3	<i>Utilização de aminoácidos na agricultura</i>	53
2.5	NUTRIENTES E AMINOÁCIDOS NA PRODUÇÃO VEGETAL	56
3	ARTIGO A	60
3.1	INTRODUÇÃO	62
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
3.4	CONCLUSÃO	90
4	ARTIGO B	91
4.1	INTRODUÇÃO	93
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	94
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	103
4.4	CONCLUSÃO	110
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	112

1 INTRODUÇÃO

A cultura do trigo é base para a dieta da população de diversos países, utilizada como matéria-prima para a formação de massas (pão, macarrão e biscoitos). Sendo o segundo grão mais consumido pela humanidade, o trigo representa 30% da produção mundial de grãos. O Brasil é o 8º maior país importador de trigo do mundo, procurando sua subsistência no cultivo. Na safra de 2023 sua área cultivada foi de 34,7 milhões hectares, com produtividade de 2.331 kg ha⁻¹ e produção de 8,09 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

A farinha do trigo, além de fonte de energia e nutrientes, possui características que a tornam singular, dando forma aos alimentos. A constituição proteica de grãos de trigo é dividida em solúveis (albuminas e globulinas) e as de reserva ou insolúveis (gliadina e glutenina), que são responsáveis por dar forma a alimentos. Além disso, as proteínas de reserva correspondem a cerca de cinco a oito % do peso seco de grãos de cereais, sendo extremamente importante para a constituição dos grãos e sementes.

Para que o trigo possua um bom desenvolvimento e conseqüentemente um bom rendimento, devemos aliar os conhecimentos sobre fenologia da cultura, procurando identificar a fase e seus componentes produtivos, coma a fase reprodutiva da planta de trigo, que estará ligada a formação e enchimento dos grãos e sementes produzidas.

Dessa forma podemos analisar quando a cultura terá sua melhor resposta ao manejo, seja ele nutricional e fitossanitário, atuando no controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Para uma boa nutrição de plantas, devemos seguir práticas corretivas de solo, objetivando o máximo fornecimento de nutrientes para as plantas (adubação e calagem).

Porém, mesmo seguindo os pressupostos para uma boa nutrição de plantas, os ambientes podem interferir e indisponibilizar temporariamente alguns nutrientes presentes no solo, podendo limitar o seu potencial produtivo. A adubação foliar é uma alternativa rápida para o fornecimento de nutrientes e pequenas moléculas de uma forma eficaz e pontual, quando a cultura apresenta seu pico de exigência nutricional.

O enxofre é responsável pela formação de alguns aminoácidos

(cistina e metionina) que juntamente com a ligação com outros aminoácidos são responsáveis por formar proteínas. As proteínas são macromoléculas complexas e essenciais para a planta, sua função está ligada à estrutura e ao funcionamento do seu metabolismo, sendo muitas vezes catalizadores de reações bioquímicas, importante para suas funções fisiológicas. Dessa forma uma planta com deficiência de enxofre pode ter seu crescimento e desenvolvimento comprometidos.

Os aminoácidos além da formação de proteínas, podem ter outras funções no funcionamento da planta, como: cofatores enzimáticos, osmoprotetores, antioxidantes, sinalizadores, entre outras funções. Devido a suas várias funções na planta tem-se destacado a utilização de aminoácidos via foliar nas lavouras comerciais, procurando resultados em situações de estresse ou como ativador do metabolismo.

Dessa forma, a hipótese do trabalho consiste em analisar se o enxofre elementar juntamente com os aminoácidos aplicados via foliar durante a fase reprodutiva da cultura do trigo, irão suprir as suas necessidades resultando em melhores condições de desenvolvimento e conseqüentemente a qualidade do grão em questões produtivas e composição química do mesmo e na formação de sementes com maior qualidade fisiológica.

O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade de grãos e qualidade de sementes para a produção de trigo com aplicação via foliar de enxofre elementar e seu efeito associado a aminoácidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TRIGO: ASPECTOS GERIAS

O trigo, nomenclatura para a planta e para o grão, pertence à família Poaceae, subfamília Pooideae, ao gênero *Triticum*, e é classificado em diferentes espécies, conforme seu número de cromossomos: *Triticum monococcum* (14 cromossomos), *Triticum durum* (28 cromossomos) e o trigo comum, *Triticum aestivum* (42 cromossomos) (POPPER, SCHÄFER; FREUND; 2006). Com cerca de 90% da produção mundial, a espécie mais cultivada é a *T. aestivum*, destinadas à panificação, tortas, biscoitos e produtos similares. Já o *T. durum*, originário da Etiópia, produzido principalmente no norte e sudeste dos Estados Unidos e do Canadá, representa cerca de 4% da produção mundial (ABITRIGO, 2022).

O trigo possui porte de 0,5 a 1,5 m, seu sistema de raízes é do tipo fasciculado (ou cabeleira), caule oco e reto (colmo), seis a nove folhas estreitas e compridas, em grupo de três a cinco formam uma espiguetas que se agrupam em 15 a 20 formando espigas, o fruto é cariopse, seco, pequeno (chamado grão), o ciclo de produção do trigo pode durar, em média, de 100 a 170 dias, variando de acordo com a cultivar empregada e as condições edafoclimáticas (clima e solo) (RODRIGUES, et. al. 2011).

2.1.1 Aspectos histórico e econômicos do Trigo

A provável origem do trigo é na Mesopotâmia, há cerca de 10 mil anos a.C., numa região chamada pelos historiadores de Crescente Fértil, área que hoje vai do Egito ao Iraque. Era utilizado para a alimentação, na forma de uma mistura contendo peixes e frutas.

Por volta de 4 mil a.C. no Egito, relatos indicam o início do processo de fermentação do farelo de trigo, possibilitando a fabricação de pães e biscoitos, que eram moldados com formas humanas e de animais, oferecidos aos deuses ou usados em rituais religiosos (ABITRIGO, 2022). Existem relatos na China, datadas em 2 mil a.C., da sua utilização como macarrões e pastéis. Já no século XIII, Marco Pólo, mercador italiano que estava na China, trouxe o macarrão para a Itália. Na Europa, o cultivo do trigo se expandiu inicialmente para regiões

mais frias (Rússia e Polônia), em seguida assim no século XV, levaram às Américas, durante a colonização (ABITRIGO, 2022).

A chegada do trigo ao Brasil foi em 1534, por Martim Afonso de Souza, que desembarcou na capitania de São Vicente, atual estado de São Paulo, porém o clima quente dificultou seu cultivo. Na segunda metade do século XVIII, a triticultura começou a desenvolver-se no estado do Rio Grande do Sul, porém no início do século XIX a infestação de ferrugem afetou sua produção, tendo o retorno de seu cultivo apenas nos anos 20 (TEIXEIRA FILHO, at. Al. 2007).

A partir da década de 40, a região Sul (Rio Grande do Sul e no Paraná) destacou-se em questões produtivas, devido ao desenvolvimento de pesquisas com sementes que permitiu aumentar a área plantada e o rendimento (MIRANDA, 1994). A evolução da biotecnologia e a criação de variedades mais adaptadas possibilitaram o cultivo do trigo na região do cerrado, destacando-se em atributos qualitativos e quantitativos (MEZIAT; VIEIRA, 2009).

Considerada uma das cadeias produtivas mais importantes do setor de alimentação, o trigo oferece produtos básicos para a dieta da população, além de ser uma atividade econômica alternativa para a agricultura no período de entressafra, reduzindo problemas gerados pela sazonalidade, em relação a emprego e renda (SILVA; FERREIRA; NOGUEIRA JUNIOR, 2004).

Os 10 maiores produtores de trigo no mundo são: China (140 milhões de toneladas), UE (138,5 milhões de toneladas) Índia (113,5 MT), Rússia (85 MT), EUA (47,3 MT), Canadá (35 MT), Austrália (29 MT), Paquistão (28 MT), Turquia (19,5 MT), Argentina (17,5 MT) e Ucrânia (17,5 MT). O Brasil subiu duas posições no ranking e atualmente encontra-se na 12ª posição, com previsão estimada de 10 milhões de toneladas de trigo na safra 2023/24 segundo o departamento norte-americano. (FAO, 2023).

A área cultivada na safra de 2023 foi de 34,7 milhões hectares, com produtividade de 2.331 kg ha⁻¹ e produção de 8,09 milhões de toneladas. Sendo de extrema importância para a agricultura do Sul, a cultura do trigo se encaixa perfeitamente em sistemas de sucessão com leguminosas, além de encontrar condições ideais de desenvolvimento no período do inverno, representando 88% da área nacional cultivada, com 2.790,9 mil hectares e uma produção de 9.714,1 mil toneladas. O Paraná contribuiu com 1.195,8 hectares, produção de 3.501,3 mil toneladas e produtividade de 2.918 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024).

A previsão da safra de 2024 é 155,3 mil toneladas. Considerando o estoque inicial de 740,4 mil toneladas, importação de 5.400 mil toneladas e exportação de 2.600 mil toneladas, o Brasil terá um total de 15.773,7 mil toneladas para uma demanda interna de 12.641,8 mil toneladas, chegando a um estoque de 531,9 mil toneladas (CONAB, 2024).

2.1.2 Fenologia do Trigo

Na busca pela alta produtividade de uma lavoura de trigo, além de condições ideais de fertilidade, chuva e fotoperíodo, aliados ao conhecimento agrônômico, é necessário conhecer as principais características de cada estágio fenológico da cultura. Dessa forma, é possível associar as fases de desenvolvimento da planta com o manejo adequado para cada situação específica dentro da cadeia produtiva (RODRIGUES, et. al. 2011).

Para auxiliar a identificação das fases, existem as escalas fenológicas, que abordam a descrição desde a emergência até a maturação. Uma das escalas é a Escala Fenológica de Zadoks, onde são descritas as fases vegetativa e reprodutiva da planta através de um código de dois dígitos relacionado à morfologia. De forma geral é dividida em cinco etapas: germinação/crescimento da plântula, afilhamento, alongamento, espigamento e a maturação (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015).

A semente de trigo encontra-se dormente, sem atividade metabólica. Quando a semente é depositada no solo sob condições ideais de temperatura e umidade, inicia-se o processo de germinação. Partindo da embebição da semente (fase 0.1), quando as células se reidratam, isso dá início às atividades metabólicas e é a primeira subfase da germinação, gerando energia necessária para a segunda subfase que é a divisão e multiplicação celular, que culmina no crescimento dos tecidos e emissão da radícula, que encerra o processo de germinação. Assim, a planta começa a fixar-se no solo e absorver água e nutrientes, desenvolvendo-se até a emissão e emergência do coleóptilo (0.7). A partir desse estágio, a plântula possui a capacidade de sobreviver acima do nível do solo (MARCOS FILHO, 2015).

O crescimento da plântula, estágio 1.0, é caracterizado pela emissão das folhas verdadeiras através do coleóptilo. Quando uma folha verdadeira é emitida, surge por meio do epicótilo outra que na sequência também irá se abrir. O

processo ocorre gradualmente até o surgimento de nove (média) ou mais folhas (SALISBURY; ROSS, 1992).

O afilhamento, estágio 2.0, ocorre quando o colmo principal está expandido, podendo surgir em média nove afilhos paralelos à base principal, dependendo das condições de clima, fertilidade e característica de cultivar (RODRIGUES et al., 2011).

No alongamento (estádio 3.0), ocorre o crescimento em altura da planta e finaliza a formação de afilhos, devido a sua capacidade de competição. Os nós alongam-se e tornam-se visíveis gradualmente, permitindo um maior aporte de área foliar. Dentro do último entrenó, a espiga desenvolve-se dentro do colmo (estádios 3.7 a 3.9) junto da folha bandeira (última folha). O emborrachamento (estádio 4.0), fase na qual a bainha foliar é engrossada pela espiga, finaliza o período vegetativo. Durante esse processo a planta está bastante vulnerável a estresses ambientais (RODRIGUES, et. al. 2000).

O estágio de duplo anel (estádio 5.0), é geralmente é concomitante ao aparecimento do primórdio de espiguetas no ápice, caracteriza o final da fase vegetativa, ou seja, o final da produção de folhas e de afilhos, e início do período reprodutivo, ocorrendo entre duas a quatro folhas visíveis. A partir do duplo anel, o primórdio diferencia as demais espiguetas na espiga, progredindo até desenvolver a última, espiguetas terminal, que culminando no emborrachamento, surgimento da espiga no ápice da bainha foliar. Sucedendo o amadurecimento sexual da planta, antese floral (estádio 6.0) (VALÉRIO, et. al. 2009).

O enchimento do grão é caracterizado por três fases. A primeira (estádio 7), o desenvolvimento dos grãos leitosa: cariopse aquosa (7.1), início de estado leitosa (7.3), estado leitosa (7.5), final de estado leitosa (7.7). A segunda (estádio 8), o desenvolvimento dos grãos em massa: início do estado de massa (8.3), estado de massa mole (8,5) e estado de massa dura (8.7). E a terceira (estádio 9): maturidade fisiológica (9.0 a 9.9) e menor umidade no interior do grão. Por fim, a fase de grãos maduros com a cariopse dura, pronto para a colheita, codificado pelo estágio 9.2. Posteriormente a planta entra em senescência e secagem das folhas e espiga, finalizando o ciclo da cultura do trigo (SALISBURY; ROSS, 1992).

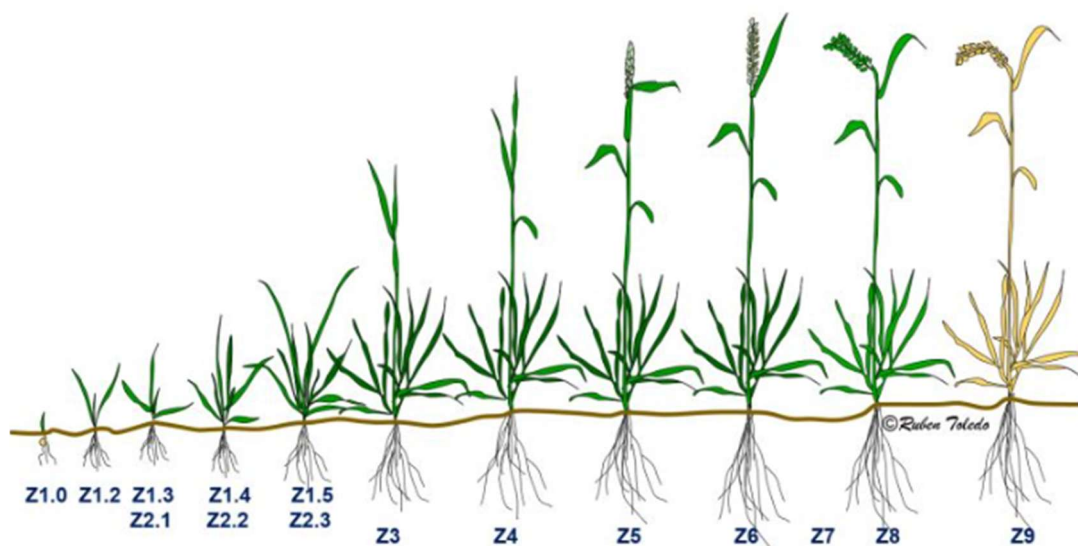


Figura 1: Escala fenológica da cultura do trigo, de Zadosk, (Fonte: adaptado de ROBENS TOLEDO, 2023).

2.1.3 Ecofisiologia do Trigo

O ciclo de desenvolvimento da cultura do trigo, embora seja um processo contínuo de sucessivas mudanças, pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015).

A duração de cada fase é determinada pela interação genótipo/ambiente e pelos estádios de desenvolvimento. Assim, a adaptabilidade do trigo decorre da sua habilidade de percepção das mudanças no ambiente, acelerando ou retardando o seu desenvolvimento. Os principais sinais de ambiente são a temperatura e o fotoperíodo.

O desenvolvimento da planta de trigo (ontogênese) pode ser caracterizado mediante a morfologia externa da planta e modificações em seu meristema apical. Podendo ser caracterizadas por meio dos estádios de desenvolvimento, possuindo assim várias escalas de desenvolvidas (LARGE, 1954; HAUN, 1973; ZADOCKS, et. al. 1974; NERSON, et. al. 1980; TOTTMAN; BROAD, 1987).

Contudo, a previsibilidade do desenvolvimento, conseqüentemente, a adequação de estratégias de manejo objetivando a maximização da produtividade é limitada. Devido a marcação de um período da fase de desenvolvimento, utilizar

como parâmetro apenas a morfologia da planta, é uma descrição genérica (RODRIGUES, 2000), pois o início e o fim de determinadas fases/períodos de desenvolvimento não possuem limites precisos, por uma fase ocorrer variações morfológicas.

Por outro lado, a observação direta do meristema apical ou do desenvolvimento da espiga na planta de trigo, permite uma identificação mais precisa, sendo o critério mais adequado para a caracterização da fase de desenvolvimento da cultura (RODRIGUES, et. al. 2011).

Existem dois estádios de desenvolvimento claramente definidos, durante os quais os órgãos (folhas, afilhos, espiguetas e grãos) são determinados. Possuindo influência direta do efeito de estresses nos componentes de produção, ocorridos durante o desenvolvimento do trigo (RODRIGUES, et. al. 2006).

Nesse contexto, pode-se também destacar a aplicação de fertilizantes (principalmente nitrogenados) e sua influência na composição do rendimento da cultura do trigo. Devido a interação com o ambiente que o nitrogênio possui, deve estar disponível em quantidade e quando a planta mais necessita. (RODRIGUES, et. al. 2001).

Nesse sentido, a utilização de uma escala arbitrária utilizando delimitadores (marcadores) de fases, baseados no desenvolvimento do ápice de crescimento, pode ajudar na melhor compreensão dos efeitos dos fatores de ambiente e genéticos no desenvolvimento e composição da produção de trigo (Figura 2).

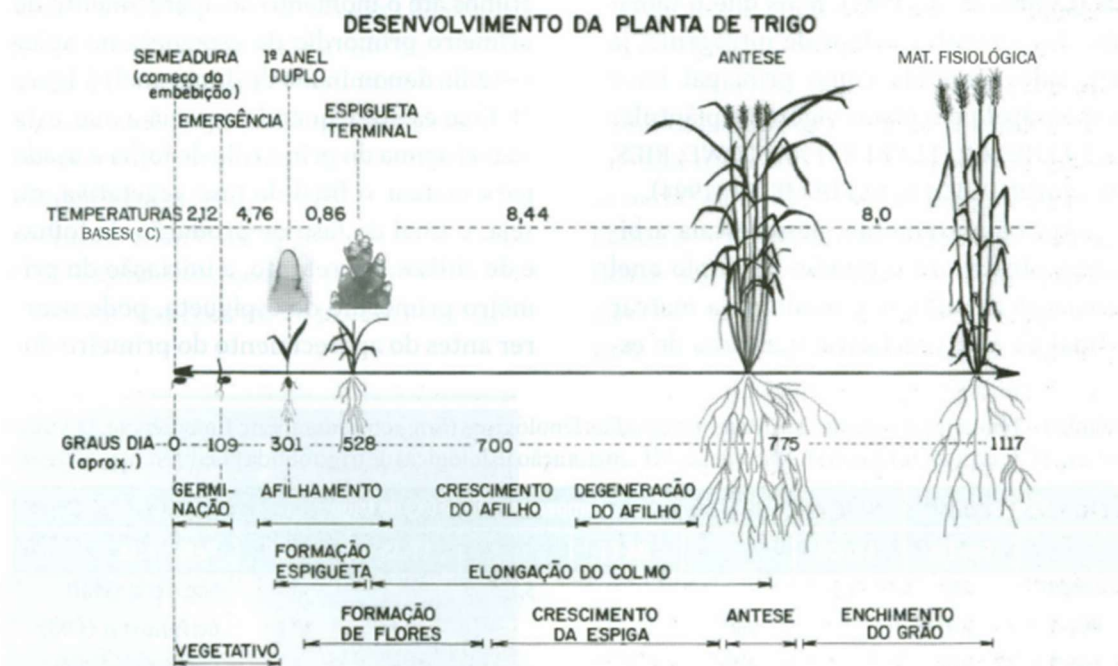


Figura 2: Diagrama de representação das fases de desenvolvimento da planta de trigo (*Triticum aestivum* L. cvs BR 23 e BR 35). Destaque para as temperaturas basais e somas térmicas nas respectivas fases de desenvolvimento. Fonte: RODRIGUES (2011).

Em condições de campo, quando o ápice não pode ser observado, são adotadas avaliações baseando-se na morfologia externa e sua relação com o desenvolvimento do meristema apical, algumas vezes podem ser utilizadas. Nesse sentido, o início do alongamento do colmo frequentemente coincide com o estágio de espiguetas terminal (RODRIGUES, et. al. 2011) e pode ser identificado pela percepção do "primeiro nó" na planta.

No diagrama apresentado na Figura 2, observa-se a germinação da semente de trigo, necessitando de uma temperatura mínima de 3 °C a 5,5 °C, com um ótimo entre 20°C e 25°C (MUNDSTOCK, 1999). A necessidade hídrica da semente é que o solo forneça 35% a 40% de seu peso seco. Já a luz e as condições nutricionais, possuem uma menor importância, devido as reservas presentes no endosperma suprirem as necessárias para o crescimento inicial até o aparecimento da primeira folha verde. (EVANS, et. al. 1983).

Após a germinação, observa-se o estágio de duplo anel (iniciação floral) que é marcado pelo final da fase vegetativa. No estágio de espiguetas terminal, marca o momento em que todas as espiguetas já foram iniciadas e começa o alongamento do colmo, o estágio de alongamento é marcado pela extrusão completa

das espigas e, finalmente, os estádios de antes e maturação da planta (RODRIGUES, et. al. 2011).

O desenvolvimento do meristema apical, o qual permanece pequeno em forma de uma cúpula (0,5 mm a 1,0 mm de comprimento), está localizado abaixo da superfície do solo após a emergência da plântula. Durante esse período, o ápice de crescimento gera folhas e afilhos até o momento do aparecimento do primeiro primórdio de espiguetas no ápice (duplo anel), marcar o final da fase vegetativa, ou seja, fim da produção de folhas e de afilhos (DELEACOLLE, et. al. 1989; KIRBY, et. al. 1990).

Portanto, o período reprodutivo ao contrário do que muitos imaginam não inicia com a extrusão das anteras na espiga, a manifestação exterior do processo reprodutivo é retardada no tempo. Durante o período caracterizado como "afilhamento", o componente primário determinante da produção é o número de afilhos/planta. A taxa de emergência de folhas também é importante para a produção, por meio do seu efeito na iniciação de afilhos, têm mais chance de produzir espigas (RODRIGUES, et. al. 2000).

Tanto a cultivar (genéticas), quanto o ambiente, influenciam na produção de afilhos. A temperatura do ar, sendo baixa, permite a emissão de um grande número de afilhos. A disponibilidade de água, nutrientes minerais e boas condições físicas de solo. Entretanto, o espaçamento entre plantas é o fator de maior efeito na emissão de maior número de afilhos (MUNDSTOCK, 1999).

A partir do estágio de duplo anel, o primórdio diferencia as demais espiguetas na espiga, até desenvolver a última espiguetas, caracterizando o estágio de espiguetas terminal. Nesse estágio onde todas as espiguetas já estão iniciadas ocorre a definição do número potencial de espiguetas/ espiga e o colmo inicia claramente sua alongação (RODRIGUES, et. al. 2000).

Nesse momento, as condições de ambiente não influem sobre o número de espiguetas, mas podem afetar a quantidade de flores que se diferenciam em cada espiguetas. A partir desse estágio, ocorre desenvolvimento dos órgãos florais, com a posterior meiose dos grãos de pólen e diferenciação das flores. Interferindo no número de flores, número de espigas/ planta e conseqüentemente o potencial de rendimento de grãos, componentes de rendimento que são definidos no alongamento do colmo são (RODRIGUES, et. al. 2000).

Pouco antes de ocorrer a emergência da espiga, a inflorescência já

atingiu grande tamanho e está envolta na bainha da última folha da planta, caracterizado o chamado "emborrachamento", coincidindo, com o aparecimento externo da última folha na planta, chamada de folha bandeira. Cerca de sete dias após, estabelece-se o número total de espigas e a autofecundação das flores. Posteriormente à autofecundação, ocorre a extrusão das anteras nas espiguetas, caracterizando o processo de floração (RODRIGUES, et. al. 2000).

A fecundação é o momento mais sensível às condições de temperatura, o que pode provocar aborto de flores, morte de pólen e necrose no último entrenó, levando à morte da espiga. Após a fecundação, inicia a fase de desenvolvimento pós-antese ou enchimento de grãos nas espiguetas centrais e progride até as extremidades da inflorescência. A etapa de enchimento de grãos pode ser dividida em duas subetapas. A primeira é a divisão celular, sendo muito sensível aos estresses, a segunda é o enchimento das células (RODRIGUES, et. al. 2000), até alcançarem o máximo acúmulo de massa seca (maturação fisiológica). O componente do rendimento definido nesse período é o número de grãos por espiga (RODRIGUES, et. al. 2000).

No estágio de antese, a incidência de altas temperaturas resulta em menor rendimento de grãos, devido a variação no peso dos grãos (WARDLAW; MONCUR, et. al. 1995). Por outro lado, uma queda acentuada de temperatura, afeta a qualidade da farinha para panificação (STONE, et. al. 1997). Porém esses efeitos negativos só se manifestam se a queda na temperatura ocorrer quando o grão ainda está imaturo, ou seja, quando a acumulação de massa seca do grão for inferior a 60% do total (POPINEAU, et. al. 1994; STONE, et al. 1997).

O tamanho final de grãos depende da quantidade de grãos que a espiga possui. É possível que isso se deva devido a interações hormonais nos estágios iniciais de formação dos grãos, que a limitação no fornecimento de carboidratos (RODRIGUES, et. al. 2007). Contudo, a hipótese mais aceita é a de competição por assimilados para explicar a relação negativa entre o peso e o seu número de grãos (SLAFER; MIRALLES, 1993).

A taxa de desenvolvimento nessa fase de enchimento dos grãos é insensível ao fotoperíodo, respondendo somente à temperatura. Considerando que o enchimento dos grãos é mais limitado pelo tamanho dos "drenes" (SLAFER; SAVIN, 1994), então o aumento da temperatura acelera o desenvolvimento reduzindo o peso final dos grãos, e aumenta a qualidade com maior conteúdo de

proteínas. Dessa forma, temperaturas moderadamente altas influenciam na qualidade da farinha, na extensibilidade, na força e no volume de massa, ao alterarem as taxas de acumulação das várias frações proteicas durante o enchimento do grão (STONE; NICOLAS, 1996).

Os principais componentes do ambiente que afetam o desenvolvimento do trigo são: a temperatura baixa (vernalização), a temperatura e o fotoperíodo. Contudo, existem indicações de que outros fatores como: genética, nutrição, densidade de plantas, disponibilidade hídrica e de radiação, podem interferir nesse processo (SLAFER; RAWSON, 1994).

Em cada fase de desenvolvimento produzem-se folhas, espiguetas, flores e grãos, cujo número depende da duração da fase e da taxa de desenvolvimento. A temperatura afeta o desenvolvimento do trigo de duas maneiras distintas. Primeiro, por meio da aceleração da taxa de desenvolvimento, encurtando a duração da fase. Esse efeito é provavelmente causado pela maior atividade dos sistemas enzimáticos, nessa situação, a taxa de desenvolvimento é diretamente proporcional a temperatura na faixa entre 2 °C e 26°C. Esta relação linear (entre temperatura média e taxa de desenvolvimento) permite quantificar a duração de determinadas fases em unidades de tempo térmico (RODRIGUES, et. al. 2001).

O tempo termal também pode ser usado na análise do efeito de outros fatores de ambiente (fotoperíodo) na duração de diferentes fases do desenvolvimento, quando a temperatura não pode ser mantida constante, como no caso de experimentos em campo. O desenvolvimento também pode ser afetado pela exposição de períodos de temperaturas do ar relativamente baixas (vernalização), a qual acelera o desenvolvimento. A temperatura na qual o efeito da vernalização é mais efetivo varia entre 0 °C e 18°C, havendo um efeito ótimo entre 0 °C e 7 °C e um efeito decrescente entre 7 °C e 18°C (KIRBY, et. al. 1974).

A resposta à vernalização, com reflexos no processo de indução floral, depende de variáveis como: temperatura vernalizante, duração do período de vernalização, genótipo e estágio de desenvolvimento da planta. As plantas de trigo que respondem à vernalização, possuem a característica de diminuição do tempo para atingir o florescimento, com a redução do número de primórdios foliares e, por consequência, com a redução do número final de folhas, assim possuem a nomeação de “Trigo de inverno” (SLAFER; RAWSON, 1994).

Porém existem uma diferença em trigos de regiões tropicais, são os

trigos de primavera, que são insensíveis à vernalização (WHITECHURCH; SLAFER, 2001).

Já em relação a resposta ao fotoperíodo, o trigo tem uma exigência de receber maiores horas-luz para dar início da fase reprodutiva. O fotoperíodo ótimo para o trigo é de 20 horas, fotoperíodos menores atrasam o desenvolvimento. Esse atraso depende da sensibilidade do genótipo, havendo genótipos que respondem ao fotoperíodo e à vernalização, outros são indiferentes ou poucos exigentes e se comportam como super precoces (PASCALE; MOTA, 1966).

As cultivares desse grupo representam a grande maioria dos trigos em cultivo no sul do Brasil, e a sua semeadura não deveria ser muito antecipada, pois podem diferenciar espigas em período com grande probabilidade de geadas. Por outro lado, os trigos de inverno, exigentes em frio, devem ser semeados em períodos de baixas temperaturas para satisfazer essa exigência, caso contrário, alongam o período vegetativo podendo, em casos extremos, não ocorrer o espigamento. Atendida essa exigência, respondem ao comprimento do dia e, se este for adequado, ocorre o alongamento e posteriormente espigam (CUNHA, et. al. 1997).

Com relação ao estímulo fotoperiódico, deve-se salientar, que este é percebido pelas folhas e um sinal é transmitido ao ápice de crescimento. Portanto, as plantas de trigo não respondem ao fotoperíodo antes da sua emergência. Assim, após a emergência o trigo tem a capacidade de perceber a "estação de crescimento" para posicionar sua antese quando o risco de dano pelo frio for pequeno. Dessa forma seu desenvolvimento é acelerado ou retardado, a partir da percepção dos sinais de ambiente se adaptando as diferentes regiões (MOTA; GOEDERT, 1969).

As variedades de trigo indicam as suas exigências de clima que em linhas gerais são: na emergência, temperatura no solo de 15°C, condições hídricas de 50-200 mm. Até o perfilhamento, de 8 e 18°C, e 30 a 80 mm. Já no fim do perfilhamento ao espigamento, de 8°C e 20°C e 40 mm. Espigamento à maturação, 18°C, 60 mm. Geadas e ventos fortes são danosos (RODRIGUES, et. al. 2011).

2.1.4 Utilização do Trigo

O principal uso do trigo é a produção de farinha para fabricação de massas em geral (pães, biscoitos, bolos). A farinha obtida da moagem do

endosperma do grão é utilizada na confecção de bolos e biscoitos, e confecção de massas, já o gérmen e o pericarpo que são subprodutos da moagem dos grãos são destinados para ração animal (TAKEITI, 2016).

O trigo possui dois grupos de proteínas, as solúveis: albuminas e globulinas e as insolúveis ou de reserva: gliadina e glutenina, sendo estas, as duas proteínas constituintes do glúten, onde a gliadina promove viscosidade e a glutenina é responsável pela resistência da massa a ruptura, possibilitando a formação do miolo e a retenção do volume do pão após o assamento (SGARBIERI, 1966).

A expressão da quantidade de glúten é definida pela força de glúten (W) juntamente com o número de queda que determina a atividade da enzima α -amilase, parâmetros utilizados para classificar, em nível industrial a cultivares de trigo como Trigo Brando, Trigo Pão e Trigo para Outros Usos (SHEUER, et. al. 2011).

A qualidade do trigo para panificação é regulada principalmente pela ação proteica, que é altamente dependente de nutrientes, como o nitrogênio e o enxofre, que possuem funções estrutural e metabólica (VIEIRA, 1986). Desta forma, Malavolta; Morais (2007), destacaram a importância da nutrição com enxofre para a qualidade da farinha para panificação.

De acordo com Wrigley, et. al. 1984 e VIEIRA, 1986, as mudanças na qualidade do grão que serão destinados a panificação, são provenientes da síntese proteica, obtendo como resultado decréscimo na síntese de proteínas ricas em enxofre (albuminas e α , β e γ -gliadinas) e aumento na produção de proteínas sem enxofre (Ω -gliadina), tendo como consequência um decréscimo da qualidade da massa para a fabricação de pães, juntamente com o decréscimo da produtividade final do trigo, onde Malavolta (1996).

2.2 ADUBAÇÃO

2.2.1 Adubação aspectos gerais

Um solo é formado através de ações físicas (intemperismo e pressão), químicos (chuvas ácidas e reações de minerais) e biológicos (ação dos microrganismos presentes no solo), ocasionando a decomposição das rochas mãe ou matriz, como assim é chamada, dando origem a sedimentos, que são mantidos

aglomerados compondo solo, processo denominado pedogênese (LEPSCH, 2016).

Na composição do solo existem cinco componentes: minerais, ar, água, matéria orgânica e os seres vivos, que podendo variar em quantidades, dependendo da sua localização e material de origem, isso diferenciará a estrutura de um solo do outro. De modo geral, os solos podem ser divididos em: arenoso, argiloso, húmico e calcário (LEPSH, et. al. 2016).

A fertilidade do solo é uma ciência que estuda a capacidade pela qual o solo consegue suprir todos os nutrientes necessários para um bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Um solo considerado fértil é aquele que contém todos os nutrientes essenciais em quantidade suficiente e equilibrado sob formas assimiláveis e não evitar elementos tóxicos que prejudiquem o desenvolvimento da planta (RONQUIM, 2010).

Os nutrientes necessários para os vegetais completarem seus ciclos de vida, são dezesseis elementos químicos essenciais: o nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o enxofre (S), o ferro (Fe), o zinco (Zn), o cobre (Cu), o boro (B), o molibdênio (Mo), o manganês (Mn) e o cloro (Cl), sendo estes encontrados e disponibilizado para as plantas através do solo, os outros três elementos são: O hidrogênio (H), o carbono (C) e o oxigênio (O), tais são absorvidos do ar (GUERRA, 2015).

A fertilidade de um solo é dividida em quatro tipos. A fertilidade natural: originada pela ação do tempo, fatores climáticos e microrganismos do solo sobre o material de origem. A fertilidade atual, decorrente da ação humana, realizada através de práticas de manejo de reposição de nutrientes (mineral ou orgânica). A fertilidade potencial, solos que possuem algum limitante que impossibilita elevar a produtividade. A fertilidade operacional, que pode ser calculada através dos teores de nutrientes presentes no solo e extratores químicos (GUERRA, 2015).

Para que ocorra a atividade agrícola, é necessário que aconteça um investimento para melhorar as condições de fertilidade do solo, iniciando pela correção do solo, com a utilização de corretivos agrícolas e adubos, esse manejo pode responder em aumento de até 50% na produtividade das culturas. A eficiência dos fertilizantes minerais tem sido considerado um componente importante, estes insumos, são compostos por níveis de elementos químicos (exemplo N, P, K, entre outros) e fornecem para a planta doses ideais para que consiga concluir seu ciclo

sem limitação (LOPES; GUILHERME, 2007).

Dessa forma, é essencial que seja feita com frequência a análise química do solo, para a melhor escolha da quantidade e fonte de nutrientes que serão ofertados para a cultura em um determinado solo, procurando o equilíbrio e disponibilizar a exigência que determinada cultura, procurando elevar e aproveitar o potencial produtivo que o vegetal durante seu ciclo de vida (LOPES; GUILHERME, 2007).

Os nutrientes são divididos em duas categorias, os macronutrientes e os micronutrientes, ambos são de extrema importância para o ciclo de uma planta, a diferença é que os macros a planta necessitam em grandes quantidades, ou seja, em kg ha^{-1} , já os micros, os vegetais utilizam apenas g ha^{-1} destes durante sua vida (PANDOLFO; SPAGNOLLO, 2012).

Os macronutrientes exigidos pelas plantas são: N, P, K, Ca, o Mg, e S (FERREIRA, 2012). O N, P e K são considerados os mais importantes e exigidos pela planta, denominados macronutrientes primários. Já o Ca, Mg e S, são essenciais e são chamados de secundários. Quando se trata de micronutrientes essenciais para os vegetais, são eles: Fe, Zn, Cu, B, Mo, Mg e o Cl, mesmo que sua exigência seja em menores quantidades, são muito importantes para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas e a falta de algum destes durante o ciclo biológico vegetal, se torna um limitante (ALEXANDRE, 2012).

A adubação, processo pelo qual se utilizam fertilizantes com o objetivo de aumentar a disponibilidade de nutrientes, pode ser realizada via solo ou foliar. Os macronutrientes, devem ser lançados no solo, devido ao órgão responsável por absorver água e nutrientes são as raízes, assim sendo a melhor forma de suprir a necessidade da cultura. Os micronutrientes, por serem exigidos em menores quantias e a dificuldade operacional, podem ser aplicados através da pulverização e são absorvidos via folha (CASTOLDI, et. al. 2011).

A deficiência de alguns nutrientes pode ser notada através da área foliar da planta, a falta do Ca por exemplo, torna as folhas novas pálidas e enroladas, já o déficit do potássio, deixam as folhas finas com a aparição de pequenos buracos, a ausência de fósforo, faz com que as folhas fiquem amareladas com partes mortas e, com o passar do tempo, destrói a folha ligeiramente, o S, por sua vez, afeta de forma total o desenvolvimento das plantas, deixando-as raquíticas e anãs (FERREIRA, 2012).

O S é um macronutriente secundário, é exigido em Kg, sua absorção ocorre através das raízes quando este elemento é disponibilizado na forma sulfatada. Esse elemento químico auxilia no aumento da oferta de proteínas e aminoácidos essenciais que conseqüentemente gera um aumento no tamanho e na qualidade dos grãos, além disso, melhora de forma natural a defesa do vegetal (patógenos e pragas), melhorando também o controle hormonal, gerando crescimento e diferenciação celular (FIORINI, et. al. 2016).

A Lei de Liebig ou Lei do mínimo como popularmente é chamada, serve como base na agricultura para a obtenção de elevadas produtividades, afirma que o desenvolvimento fisiológico e morfológico de uma planta será limitado pelo nutriente que não está disponível ou em déficit, dessa forma (KREUZ, et. al. 2020).

As plantas no geral são seres autótrofos, ou seja, capazes de sintetizarem compostos orgânicos através de compostos inorgânicos, próprio seu próprio alimento e realizar seu crescimento. A fotossíntese é o processo de formação de alimento, gerando energia (glicose), e para a geração de glicose é necessário que esteja disponível para o vegetal o carbono, hidrogênio e oxigênio, no qual o carbono vem do gás carbônico retirado da atmosfera, o oxigênio também é oriundo do gás carbônico, e o hidrogênio, é retirado da água, em que a luz quebra a molécula de água separando o oxigênio do hidrogênio, compondo, dessa maneira, a molécula de glicose (TAIZ; ZAIGER, 2017).

No entanto, a fotossíntese não irá gerar todos os componentes necessários para sobrevivência das plantas que são os lipídeos, as proteínas, as vitaminas e outros itens orgânicos que precisa para sobreviver e, para isso, através das raízes, os vegetais absorvem minerais retirados do solo que irão se juntar às moléculas de glicoses geradas pela fotossíntese e, dessa forma, serão formadas a outras substâncias orgânicas essenciais para o desenvolvimento e reprodução desses seres (KLUGE, 2015).

O carbono é o elemento químico que constitui a base da vida na terra, todos os organismos são compostos por substâncias como proteínas, carboidratos, lipídeos, entre outros, e todas essas matérias têm em sua composição a molécula de carbono, além disso, quando acontece a quebra do carbono nessas substâncias é que irá ocorrer a liberação de energia para que estes organismos (MOREIRA, 2013).

Nas plantas, a fixação de carbono, nada mais é que a conversão do

gás carbônico em uma molécula orgânica chamada por 3-fosfoglicerato, essa molécula possui 3 carbonos e por isso essas plantas são denominadas plantas C3, como o trigo a soja, o arroz. A rubisco é a enzima responsável pela fixação do carbono e, por esse motivo seus estômatos estejam abertos para a maior absorção do CO₂, porém, quando os estômatos permanecem abertos por muito tempo as plantas perdem muita água, o que se torna algo prejudicial para a planta (KUMAR, et. al. 2017).

A planta, em seu processo de crescimento, absorve os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas e cada nutriente possui um papel específico. Dessa maneira, não se deve resumir a nutrição de plantas nos nutrientes N, P e K, já que são os mais utilizados. Dessa forma, devemos pensar numa boa disponibilização de todos os nutrientes, exigindo dessa forma a correção dos solos, implicando em avaliar os níveis de nutrientes (FACTOR, 2018).

Para corrigir a acidez de um solo, é preciso que seja realizado o processo de calagem, utilizando o Ca, fornecendo conjuntamente o Ca e Mg. O K também deve ser corrigido e as fontes mais utilizadas são o cloreto e o sulfato de potássio. Depois que o solo estiver corrigido é que deverá ser concretizada a adubação e as quantidades a serem utilizadas irão variar de acordo com a exigência nutricional de cada cultura (FREIRE, 2013).

Nas partículas do solo: argila, areia e o silte, possuem cargas elétricas negativas que são responsáveis pela retenção de nutrientes colocados no solo, dessa forma, a CTC (capacidade de troca de cátions) do solo, se ligam com os minerais de cargas positivas, que são: O cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio, formando a CTC. Desse modo, quanto maior o teor de argila presente em um solo, maior será a capacidade de segurar nutrientes (DE FREITAS, 2017).

É importante lembrar que o hidrogênio e o alumínio que fazem parte da CTC de um solo podem atrapalhar o desenvolvimento da cultura. O hidrogênio interfere diretamente no pH (potencial hidrogeniônico) que em grandes quantidades deixam os solos ácidos. Já o alumínio, é um elemento tóxico, por ser tóxicos, quando as raízes entram em contato com não consegue se desenvolver. Sendo assim, para um solo ser otimizado, é imprescindível que seja realizada a calagem, pois é possível elevar o pH, já que o cálcio e magnésio irão substituir o hidrogênio e neutralizar o alumínio em subsuperfície. E na presença de alumínio em camadas mais profundas do solo, sua neutralização só será possível através da gessagem,

por se tratar de um material solúvel, diferente do calcário (AMARAL, et. al. 2017).

Procurando fornecer nutrientes através fertilizantes minerais, que podem ser encontrados no mercado, estão os adubos químicos que são compostos inorgânicos, e através disso, faz com que estejam disponíveis mais prontamente para as plantas, tendo em sua composição altas concentrações de nutrientes. Eles podem ser retirados através de fontes naturais através do ataque de ácidos, por meio de jazidas naturais, ou até mesmo de forma sintética que é o caso no nitrogênio, com a ureia e os quelatos (GARCÍA; NAVARRO GARCÍA, 2014),

Os fertilizantes simples têm o objetivo de retirar um nutriente, porém pode acontecer de haver em sua composição outro nutriente. Como exemplo a ureia, tem como intuito de fornecer N, o sulfato de amônio, é constituído por N e S e o superfosfato simples, com o propósito de fornecer P, e tendo também em sua estruturação o Ca e o S. Ainda podem ser encontrados os fertilizantes mistos que são os formulados, compostos geralmente por dois ou mais nutrientes, exemplo o 10-30-15 (10% nitrogênio, 30% fósforo e 15% potássio) utilizados geralmente como adubação de fundação, no dia do plantio (PRATES, et. al. 2012).

O fertilizante químico utilizados na adubação de plantio, tem em sua formação os percentuais que podem variar entre, 18 a 21% de fósforo, 16% de cálcio, e de 10 a 12% de enxofre, o grande diferencial desse adubo é justamente a oferta do S na forma de sulfato de cálcio, já que, o S é um macronutriente essencial, muitas vezes, não é utilizado (BROCH, et. al. 2011).

Os fertilizantes possuem a maior participação, quando pensamos nos custos de produção no trigo, representando aproximadamente 25% do investimento na lavoura. Por outro lado, esses insumos também são responsáveis pelo incremento na produtividade e na qualidade dos grãos (EMBRAPA, 2017).

A ureia tem sido o principal fertilizante utilizado no trigo devido ao menor custo por unidade de nutriente dentre os adubos nitrogenados disponíveis no mercado. No Paraná a utilização de adubos no cultivo de trigo vem aumentando. Em 2002, durante a semeadura eram utilizados adubos formulados contendo N, fosforo e potássio (NPK) em 9,8% da área de cultivo de trigo no estado; em 2012, subiu para 37,5% da área; e em 2014 esses fertilizantes na semeadura foram aplicados em 41,9% das lavouras. Já a adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em 56,4% das lavouras em 2000; subiu para 85,2% em 2012; e foi registrada em 74,8% das lavouras de trigo em 2014. Além da ampliação da prática no uso de fertilizantes,

os dados apontam o aumento da dose aplicada, sendo que doses acima de 100 kg/ha de ureia (Nitrogênio) foram utilizadas em 50% da área de trigo monitorada na safra 2014 (EMBRAPA, 2017).

O manejo nutricional, de qualquer forma que for, tem como objetivo fornecer os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento e alcançar as metas de produtividade, para isso, tem-se adotado fertilizantes foliares podem complementar as aplicações via solo, propondo o aumento da sua eficiência, aplicando nutrientes em fases críticas que a planta pode estar sem o mesmo devido a ambiente ou manejo (CARVALHO, 2001; SNYDER, 1998).

2.2.2 Adubação foliar

A capacidade da planta em absorver água e o que estiver dissolvido nela pela parte aérea, é a base para a aplicação fertilizantes via folha (BOARETTO; ROSOLEM, 1989).

Segundo Camargo; Silva (1990), o vegetal é dividido em duas partes distintas, visando à absorção foliar: o apoplasto, constituído por cutículas, paredes celulósicas, vasos lenhosos, tecidos suberificados e lignificados, colênquima e esclerênquima, e o simplasto, formado pelas partes consideradas vivas (plasmalemas, tonoplastos, citoplasmas, plasmodesmos, ectodermes, membranas nucleares e organelas), sendo que o simplasto é a rota para a metabolização dos minerais. Assim, para a absorção de íons e moléculas, elas devem ultrapassar duas barreiras: a cuticular, para entrarem no apoplasto, e o plasmalema, para passarem do apoplasto para o simplasto, completando o fenômeno de absorção.

De acordo com Castro (2009), a estrutura da cutícula apresenta uma matriz de cutina, contendo plaquetas de cera e lamelas de celulose. Sua estrutura e a quantidade de cera presentes na superfície foliar são de extrema importância quando se consideram as pulverizações de substâncias, pois influem na molhabilidade da referida superfície. Wittwer; Bukova; Tukey, (1963), estudando a permeabilidade da cutícula, demonstraram que a penetração dos íons foi linear com o tempo, independentemente da presença de estômatos. WITTWER; TEUBNER (1959) afirmaram que a barreira cuticular evidencia o fato de que as folhas jovens, levemente cutinizadas, absorvem nutrientes mais rápido em relação as folhas velhas excessivamente cutinizadas, e ainda que a face abaxial é freqüentemente mais

eficiente que a face adaxial. Tal fato foi comprovado por Gustafson et. al. (1957), que nos seus ensaios com diferentes plantas na absorção e translocação de Co^{60} , observou diferenças entre a face adaxial e abaxial, não se devendo tal diferença a quantidade de estômatos, mas às variações de espessura da cutícula.

O simplasto tem continuidade por toda a planta devido à existência de plasmodesmos, que são cordões citoplasmáticos extremamente finos, responsáveis por conectarem o protoplasma de uma célula a outra. As células epidérmicas apresentam estruturas semelhantes denominadas ectoderme, que se projetam na cutícula, chegando algumas até próximo à superfície foliar (CASTRO, 2009).

Os ectodermes são de estrutura plasmática e desempenham importante papel na absorção cuticular, sendo que estudos morfológicos em folhas de diversas plantas sugerem que os ectodermes, à semelhança dos plasmodesmos, atuam como via de transporte (FRANKE, 1967). O mesmo autor em experiências com água, para estudos de transpiração cuticular, demonstrou que a posição dos ectoderme coincide com os locais onde se encontrava a água, sugerindo que a posição dos ectoderme coincide com os locais de penetração (CAMARGO; SILVA, 1990).

Segundo Ben (1983), as pesquisas de adubação foliar em soja foram intensificadas nos EUA a partir da divulgação do trabalho de GARCIA; HANWAY (1976), no qual foram observados resultados positivos à aplicação de macronutrientes durante a fase de granação. A Embrapa Agropecuária Oeste testou, na safra 2004/05 e 2005/06 vários adubos aplicados via foliar, tanto na forma de fórmulas completas com vários elementos e/ou aminoácidos, como produtos contendo um único nutriente. Os resultados mostraram equivalência em rendimento de grãos com o controle, onde não se aplicou os produtos

2.3 ENXOFRE

2.3.1 Importância do Enxofre

O enxofre (S) é um macronutriente com funções essenciais para o desenvolvimento das plantas. Suas funções podem estar ligadas tanto a estrutura da

planta quanto ao seu metabolismo (MALAVOLTA, 1980). Uma dessas funções é a formação de aminoácidos essenciais (metionina e cisteína) e assim consequentemente fazem parte na estruturação de proteínas (STIPP; CASARIN, 2010).

Além de compostos proteicos, ele participa na constituição de coenzimas, sulfolipídeos, flavonoides, lipídeos, glucosinolatos, polissacarídeos, compostos não saturados, sulfóxidos, alcaloides, nucleotídeos, compostos reduzidos, entre outros. O S, assim como o nitrogênio, atua em diversos processos fundamentais para a planta, como na absorção iônica aos papéis do RNA e DNA, no controle hormonal, regulando o crescimento e a diferenciação celular (STIPP; CASARIN, 2010), na redução do nitrato e na fixação biológica do nitrogênio, e, por estar relacionado com a atividade da enzima nitrato redutase (HOROWITZ, 2003).

2.3.2 Enxofre no Solo

O S é encontrado na forma orgânica e inorgânica. A forma orgânica é dividida em ésteres e ligados a carbono, encontra-se em maior quantidade principalmente em solos tropicais e nos horizontes superficiais, tendendo a diminuir com o aumento da profundidade e decréscimo da matéria orgânica (HOROWITZ, 2003). A sua disponibilização ocorre através da ação biológica, mineralizando a matéria orgânica, voltando à forma de sulfato (SO_4^{-2}), regulando o ciclo do nutriente no solo (OSÓRIO FILHO, et. al. 2006).

A forma inorgânica de S apresenta-se como ânion sulfato (SO_4^{-2}), não possuindo atração pelas argilas ou matéria orgânica. Pode ser encontrado na solução do solo, adsorvido na fração sólida, como: dióxido de S (SO^2), sulfito (SO_3^{-2}), tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$), S^0 e em formas reduzidas como o sulfeto (H_2S) (HOROWITZ, 2003).

A degradação da rocha matriz, libera sulfato. A queima de combustíveis fósseis libera várias formas gasosas de S, entre elas o dióxido de enxofre (SO_2) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S) que retornam a superfície através de chuvas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Sendo transportado no solo, em solução aquosa através de fluxo de massa e sendo novamente disponibilizada para as plantas (SILVA; VENEGAS; RUIZ, 2002).

2.3.3 Assimilação de Enxofre pelas Culturas

A maior parte do S presente nas células da planta deriva do sulfato (SO_4^{-2}) absorvido via transportador simporte ($3\text{H}^+/\text{SO}_4^{-2}$) presente na membrana plasmática. Segundo Malavolta; Moraes (2007), as plantas possuem a capacidade de absorver S tanto pelas raízes como pelas folhas, nas formas de sulfato (SO_4^{-2}), sulfeto (H_2S) e S^0 (JANZEN; BETTANY, 1987), sendo a primeira a principal forma de absorção. Porém, deve-se considerar a diferença entre a nutrição através da raiz e a foliar, ou seja, as raízes são órgãos que possuem como especialidade a absorção de água e nutrientes, assim naturalmente, sua superfície específica é muito maior que a das folhas (MALAVOLTA, et. al. 2006).

Após a absorção pelas raízes, seu transporte ocorre em maior parte, via xilema, chegando as folhas onde será reduzida para ser incorporado na planta na forma de aminoácidos, proteínas e coenzimas. (MARCHNER, 1986).

Na folha o sulfato é ativado pelo ATP sulfúrilase para formar Adenosina 5' fosfossulfato (APS), intermediário que pode seguir duas vias diferentes. Via redutora através da ferredoxina (agente redutor) para a síntese de cisteína, ou a via de sulfatação para a síntese de compostos sulfatados, onde ele pode ser conjugado em estruturas orgânicas (sulfolipídios de membrana ou polissacarídios) (MENGEL; KIRKBY, 1987).

O processo de assimilação de S via foliar é em geral mais dinâmico que nas raízes, sendo exportado pelo floema para os locais de síntese proteica (frutos, tecidos meristemáticos), na forma de glutatona, também atuando como um sinal que coordena a absorção do sulfato (SO_4^{-2}) pelas raízes e assimilação. As proteínas são os compostos que incorporam a maior parte do S e do N (ROSOLEM, et. al. 1987).

A folha apresenta três tipos de sistemas de tecido: epiderme, mesofilo e tecido vascular. Possuindo um revestimento externo, a cutícula, membrana constituída de quatro componentes (cutícula, ceras, pectinas e celulose) (RODELLA, et. al. 1989; REVAN, et. al. 2001).

Para absorver o sulfato, possuem algumas barreiras, sendo a cutícula constitui a primeira barreira à penetração de soluções provenientes de aplicação foliar, devendo atravessá-la, penetrar e difundir-se no apoplasto (segunda barreira), percorrer a plasmolema (terceira barreira), para então atingir o simplasto e

serem utilizadas. Algumas propriedades da cutícula são importantes para esse processo, como: hidrorrepelência, hidrofília, trocas iônicas e polaridade (CAMARGO; SILVA, 1975).

A absorção dos nutrientes, começa quando a solução fertilizante entra em contato com a superfície foliar. A penetração dos nutrientes nas folhas ocorre pelos estômatos e, principalmente, pelos poros através da cutícula. Depois de atravessar a cutícula, os nutrientes se movimentam pelo apoplasto e pelo simplasto. Por fim, ocorre a distribuição dos nutrientes das folhas para as outras partes da planta. Depende do movimento dos nutrientes no floema e no xilema (ROSELOM, et. al. 2002).

O S^o aplicado ao solo deve ser oxidado para S-sulfato para ser absorvido pelas plantas (JANZEN; BETTANY, 1987). A oxidação pode ser realizada por fatores abióticos; porém, as reações catalisadas pelos microrganismos são os principais agentes nesse processo. Fatores de solo como pH, textura, disponibilidade de nutrientes, aeração e temperatura podem afetar a oxidação do S^o a S-sulfato (GERMIDA; JANZEN, 1993). O pH do solo é, quase sempre, relacionado com a taxa de oxidação do S^o (JANZEN; BETTANY, 1987; LAWRENCE; GERMIDA, 1988).

2.3.4 Adubações com Enxofre

Tendo em vista todas suas funções, a necessidade de adubação tem crescido, com um aumento da produtividade esperada das culturas, adoção de fertilizantes de alta concentração (baixo ou nenhum S), menor contaminação atmosférica por uso de combustíveis e gases emitidos, menor uso de pesticidas contendo S e sua imobilização na matéria orgânica, devido a práticas de conservação de solo e água (MALAVOLTA, 1996).

Vários trabalhos têm evidenciado a resposta das culturas à adubação com s, principalmente quando se trata de oleaginosas, brássicas, algumas fabáceas, cafeeiro, citros e outras (MALAVOLTA, et. al. 2006).

Para as poáceas, poucos estudos têm mostrado resultados positivos, principalmente para o trigo. Em geral, pode-se dizer que a maior exigência de s é pelas fabáceas quando comparado às gramíneas, devido aos seu maior teor de proteínas, porém, as poáceas podem responder, com doses semelhantes ou até

superiores, em condições da grande produção de matéria vegetal e da baixa disponibilidade do nutriente no solo (ALVAREZ, et. al. 2007).

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo em 2004, definiu três faixas de disponibilidade de S: “baixo”, “médio” e “alto”, que correspondem respectivamente a teores de S extraível $\leq 2 \text{ mg dm}^{-3}$, entre 2,1 e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, e $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$. Os níveis de interpretação de S para o estado de São Paulo são Baixo: $\leq 4 \text{ mg dm}^{-3}$, Médio: entre 5 e 10 mg dm^{-3} e Alto: $> 10 \text{ mg dm}^{-3}$ (RAIJ, 1997). Para Santa Catarina e Rio Grande do Sul os níveis de interpretação de S são Baixo: $< 2 \text{ mg dm}^{-3}$, Médio: entre 2 e 5 mg dm^{-3} e Alto: $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$ (SILVA; GATIBONI; ANGHINONI ; 2012).

Contudo, para as leguminosas, brássicas e liliáceas, é preconizado o teor crítico de 10 mg dm^{-3} , ocasionando sintomas de deficiência. Assim recomenda-se em condições de baixo teor de S na análise química do solo, sugere-se a aplicação de 10 a 20 kg ha^{-1} para sequeiro e para irrigado, respectivamente. De acordo com o manual do estado do Paraná, o trigo extrai $3,5 \text{ Kg t}^{-1}$ e exporta $1,2 \text{ kg t}^{-1}$ (PAULETTI, 2004).

O manejo nutricional, tem como objetivo fornecer os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento e alcançar as metas de produtividade, para isso, tem-se adotado fertilizantes foliares podem complementar as aplicações via solo, propondo o aumento da sua eficiência (CARVALHO, et. al. 2001; SNYDER, 1998).

A adubação foliar é uma técnica que fornece micro e macro nutrientes e tem como vantagens, o baixo custo e a uniformidade da aplicação (BRAKEMEIER, et. al. 1999). Normalmente a nutrição é feita via sistema radicular, mas as folhas também são capazes de absorver nutrientes, mesmo que em menor quantidade e a adubação foliar consiste em a planta, principalmente as folhas, absorverem determinadas quantidades de elementos minerais, na forma de pulverização. Portanto a adubação foliar no caso dos macronutrientes tem caráter complementar ou suplementar o fornecimento que foi feito no solo (FERREIRA; CARVALHO, 1988).

2.3.5 Fontes de Enxofre para as Culturas

As fontes de fornecimento de S são o Sulfato de amônio (22-24%),

Tiosulfato de amônio (26%), Polissulfeto de amônio (40-50%), Sulfato de potássio (15-17%), Sulfato de potássio e Mg (22-24%), Gesso (12-18%), Sulfato de Mg (12-18%), Superfosfato simples (12-14%), S elementar (S⁰) (>85%), Sulfonitrato de amônio (15%), Superfosfato triplo (0,3-1%), Superfosfato amoniacal (12%) e Fosfossulfato de amônio (15%) (MALAVOTA, 1989). Porém as plantas reconhecem o S, na forma de ânion sulfato (SO₄⁻²) (ROSOLEM, et. al. 1987).

Estudos contendo a fonte S⁰ para o fornecimento de S, tem-se intensificado. Na cultura da soja (*Glycine max* L.), verificou-se aumento da produtividade da cultura através da aplicação de doses crescentes de S⁰ (EMBRAPA SOJA 2003, SFREDO; LANTMANN, 2007). Na cultura no milho (*Zea mays* L.), observou-se aumento no acúmulo de matéria seca, com a utilização dessa fonte no solo (FIORINI 2011).

Existindo também evidências que o S⁰ pode ser absorvido pelas folhas, Vitti et. al. (2007) avaliou sua assimilação na soja comparando formas de fornecimento, observando que 6 kg ha⁻¹ via foliar foi equivalente a aplicação 20 kg ha⁻¹ de S no solo, além de uma maior eficiência pela cultura.

Para que o S⁰ possa ser absorvido pela planta, quando aplicado via solo, necessita do processo de oxidação, formando sulfato, tornando-se solúvel (JANZEN; BETTANY, 1987). A reação de oxidação é catalisada pelo microrganismo (gênero *Thiobacillus*). Fatores de solo como pH, textura, disponibilidade de nutrientes, aeração e temperatura podem afetar o processo de oxidação do S (GERMIDA; JANZEN; BETTANY, 1993). Estudos mostram que a maior parte dos solos do Brasil possuem a capacidade de oxidação do S⁰ (HOROWITZ; MEURER, 2006).

Em um trabalho desenvolvido por Legris Deleporte et. al. (1987), foi feita uma análise química em folhas de trigo, após aplicação de ³⁵S⁰, assim foi constatada sua absorção e assimilação, que resultou em incorporação em compostos orgânicos como os aminoácidos (cisteína, cistina, metionina e glutatona forma reduzida) e proteínas. Por sua vez, o estudo sobre a absorção e metabolização Do S⁰, em cloroplastos de trigo e espinafre, por JOLIVET et. al. (1995), evidenciou a síntese de compostos que contêm S (tiosulfato, cisteína e glutatona).

Boareto et. al. (1986) estudou sobre o tempo de absorção e de translocação de fósforo e S fornecidos via foliar para o feijoeiro, na forma de sulfato

de potássio, com o S marcado ($^{35}\text{S}^0$), foi observado que 50% foram absorvidos após 16 horas, e a translocação iniciou-se a partir de oito horas.

2.3.6 Deficiência de Enxofre

Os sintomas de deficiência de S são parecidos aos de nitrogênio, devido à características quimicamente, encontra-se no grupo de moléculas que integram compostos de carbono e por seus estados de oxidação-redução variarem amplamente (TAIZ; ZAIGER, 2017).

As plantas deficientes em S apresentando-se com clorose generalizada nas folhas jovens (incluindo nervuras), devido a não remobilização do nutriente pela planta (KLIEMANH, et. al. 2007), redução do crescimento de parte aérea e raízes e acúmulo de antocianinas.

Em plantas leguminosas ocorre o efeito de redução da nodulação, processo diretamente relacionado com a assimilação de N (LOTT; McLUNG; MEDCALF, 1960). Juntamente com perda de vigor das plantas, tornam-se atrofiadas com caules finos e folhas verde-pálidas a amareladas, ocorrendo redução na formação de ramos e no número de flores e vagens, com consequência na produtividade de grãos (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA 1996).

2.3.7 Enxofre nos Componentes Produtivos

No que diz respeito à adubação sulfatada, vários pesquisadores têm se preocupado em estudar o efeito e seus reflexos na produtividade (VITTI, et. al. 1982; FURTINI; NETO, 2000). Rosolem; Marubayashi (1994) sugerem a aplicação de 20 kg ha^{-1} , quando o seu teor no solo for inferior a $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Em áreas de cerrado, Sousa; Lobato; Rein (2004) recomendam a aplicação de $15 - 30 \text{ kg ha}^{-1}$, mesmo em solo com teor médio ($5- 9 \text{ mg dm}^{-2}$ de S), principalmente, em áreas bem adubadas com os demais nutrientes.

No trabalho conduzido por Rezende; Carvalho; Santos (2009), teve como objetivo avaliar doses de S aplicadas via foliar no acúmulo de nutrientes na planta e na produtividade da soja, assim o ensaio foi constituído por sete tratamentos sendo utilizado o um produto contendo 26% de S e densidade de 1,16

nas dosagens 1,0; 2,0 e 3,0 L. ha⁻¹ e outro produto contendo 56% de S e densidade de 1,43 com doses 0,5; 1,0 e 1,5 L. ha⁻¹ e um tratamento controle, sendo todas as aplicações realizadas em R3. Dessa forma concluíram que a produtividade dos grãos foi alterada significativamente pela aplicação do S, com destaque para o contendo 26% nas dosagens de 2,0 e 3,0 L. ha⁻¹ e o produto contendo 56% de S, nas doses de 1,0 e 1,5 L. ha⁻¹ que proporcionaram rendimento de 2641, 2636, 2621 e 2549 kg. ha⁻¹. Em relação aos nutrientes verificou-se que teor de Ca e S na planta foram elevados com a aplicação de S foliar.

O que corrobora com Malavolta (1979) com a velocidade de absorção do SO₄²⁻, forma que é assimilado pelas plantas, depende do cátion acompanhante, obedecendo a seguinte série crescente: Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, K⁺.

Para a cultura do trigo produzir três toneladas de grãos ele necessita ser nutrido com 12-15 kg ha⁻², além de extrair 3,5 kg por tonelada de grão produzido e exportar 1,2 kg por tonelada de grãos produzido (LAEGREID; BOCKMAN; KAARSTAD, 1999; GARCIA; BERARDO 2005).

Malavolta (1996) obteve aumento produtivo de até 26%, com um estímulo no final do ciclo da cultura do trigo, influenciando o enchimento do seu grão. Já Landry Lagris-dalaporte; Ferron (1991), observou que o metabolismo das plantas, após a aplicação, foi estimulado, além do aumento da absorção do elemento e mudanças no metabolismo do nitrogênio. Dando condições assim de promover uma melhor qualidade da farinha (MITCHELL; KETTLEWELL, 1998).

No trabalho de Tiecher et. al. (2013), que objetivou avaliar a resposta de culturas (mamoneira, trigo, feijão-de-porco e milheto) à adubação sulfatada e quantificar o S atmosférico depositado no solo pela água da chuva, para isso ele utilizou cinco doses (0, 5, 10 e 20 kg ha⁻¹) de gesso agrícola. Concluindo que a maior produção de grãos da mamona e de matéria seca do segundo cultivo de feijão-de-porco foi obtida com aplicação de 14,5±0,35 kg ha⁻¹ de S, mesmo com teores de S abaixo dos níveis de suficiência, não houve respostas do trigo, do milheto e do primeiro cultivo de feijão-de-porco à adubação sulfatada e o aporte de S atmosférico ao solo foi de 4,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e pode ter contribuído para a ausência de resposta desses cultivos.

O seu metabolismo deste nutriente em plantas, está relacionado à nutrição nitrogenada, por estar fortemente relacionado (MALHI, et. al. 2005; MALHI; GILL, 2006). Pelo S participar da redução do NO³⁻ e na fixação biológica, por estar

relacionado com a atividade da enzima nitrato redutase (HOROWITZ, 2003). Desta maneira, há um consenso dos efeitos interativos entre o N e S e seu efeito com a produtividade (MALHI; GILL, 2007).

Lucas et. al. (2013), ao testarem cinco doses de N (0, 60, 100, 140 e 180 kg ha⁻¹) e quatro doses de S (0, 15, 30 e 60 kg ha⁻¹), constataram que a associação aumentou a produtividade de grãos na canola e as concentrações de N nas folhas. Em trabalhos realizados com a colza, GAMBAUDO; FONTANETTO; KUCHEN (2008) evidenciaram que esta cultura exige doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N para obter produtividades acima de 2 mil kg ha⁻¹. Ao passo que, ao testarem a aplicação de doses de S variando de 0 a 30 kg ha⁻¹, concluíram que em todos os casos a adição deste nutriente aumentou os rendimentos.

Broch et. al. (2011), buscou verificar a influência de diferentes fontes de S sobre a produtividade de grãos na cultura da soja, e concluíram que a aplicação de fontes solúveis de S tem resposta, mas é limitada a solos pobres neste nutriente, e que a maioria das fontes de S utilizadas foi eficiente em fornecer este nutriente, porém o S^o não foi eficiente em disponibilizar S para a cultura.

2.3.8 Enxofre na Qualidade Fisiológica de Sementes

Nos campos de produção de sementes, o uso de fertilizantes é mais comum do que em lavouras para produção de grãos, pois, as condições do solo, no tocante à composição e disponibilidade de nutrientes para as plantas, influem na sua produção e qualidade, afetando a formação do embrião e dos órgãos de reserva, assim como a composição química e, conseqüentemente, o metabolismo e o vigor das sementes (OLIVEIRA, et. al. 2006). O emprego de fórmulas equilibradas, contendo, fósforo e potássio, aliado à aplicação de nitrogênio, em dose e tempo certos, estimula a produção de sementes (OLIVEIRA, et. al. 2003).

A maioria dos estudos com a adubadas de plantas e qualidade fisiológica de sementes preconiza o equilíbrio dos nutrientes, apresenta condições de produzir maior quantidade de sementes, aliada a melhor qualidade, visto que elas poderão resistir mais facilmente às adversidades no período de produção (SÁ, et. al. 1994). A disponibilidade de nutrientes influencia a formação do embrião e dos cotilédones, com resultados eficazes sobre o vigor e a qualidade fisiológica (TEIXEIRA, 2005).

A qualidade das sementes produzidas, é definida pelo desenvolvimento das suas plantas, por sua vez, é influenciada por diversos fatores ambientais, edáficos e climáticos, como temperatura, precipitação pluvial, umidade relativa do ar e fertilidade e umidade do solo.

Culturas que apresentam elevados teores de proteínas, exigem maiores quantidades de S, para se desenvolver, comparado às outras espécies, por ser um nutriente que participa da constituinte de aminoácidos, como cistina, cisteína e metionina, que constituem cerca de 90% do total de S da planta (MARCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997). De acordo com Delouche (1981), para se obter sementes de alta qualidade, é indispensável a realização de adubação mineral adequada.

Entre os aminoácidos que possuem S em sua estrutura, a metionina merece destaque, pois está associada ao processo de germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas, por ser um aminoácido precursor intermediário de etileno. A metionina é convertida em S-adenosil-metionina, que é transformada em 1-amino-ciclopropano-1-carboxil, o precursor direto do etileno (YANG; HOFFMAN, 1984).

O etileno (hormônio vegetal), atua na superação de dormência de sementes e gemas, maturação de frutos e abscisão e senescência foliar e floral (COLLI; PURGATTO, 2008). A sua síntese ocorre por toda a planta (raízes, caule, folhas e frutos), sendo mais intensa em condições de temperaturas elevadas (aproximadamente 30 °C); sob condições de estresse; danos mecânicos e em alta concentração de O² (YANG; HOFFMAN, 1984). Esse hormônio é desejável quando há a necessidade de melhorias na taxa de germinação de sementes (AMARO, et. al. 2009) e uniformizar o processo de maturação de frutos (DIAS, et. al. 2014; JOMORI, et. al. 2014).

Dentro das importâncias do S, existem trabalhos aplicados, para melhorias no desenvolvimento e no crescimento inicial de plantas, como o de Jahan et. al. (2015), que foi feito no tratamento de sementes, isso aumentou o vigor e a germinação em canola. Na cultura do pepino, com um material nanoparticulado também verificou-se aumento da germinação, comprimento de raiz e parte aérea (ALBANNA, et. al. 2016). Já em soja, Kabir et. al. (2016) verificaram um melhor desenvolvimento com maior altura, número de nódulos, massa seca de parte aérea e de raiz, entre outros.

Vieira (1986) não constataram efeito da adubação sulfatada sobre a qualidade fisiológica das sementes, avaliada pela germinação em virtude de os teores de S, inclusive daquelas oriundas de locais que não receberam nenhuma fonte ou dose de S, encontrarem-se com valores considerados como adequados. Contrariamente, Spinola; Cícero (2000) observaram, em amendoim, efeito de doses de gesso agrícola contendo S, na germinação de sementes, embora não se tenha observado diferença de germinação entre as sementes provenientes dos tratamentos que receberam gesso agrícola e as sementes dos tratamentos que não o receberam.

Castro; Boaretto (2001), avaliando sementes de feijão produzidas por adubação foliar com S na forma de metionina, também não verificaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, tanto no cultivo “da seca” como “das águas”.

Vieira (1986), que não observaram efeito de fontes e doses de S no vigor de sementes de feijoeiro avaliado pelo envelhecimento acelerado, os dados obtidos no presente experimento foram ajustados linearmente, de forma que os resultados apresentaram valores crescentes quanto à porcentagem de plântulas normais obtida com o aumento da dose de S aplicada em cobertura.

Rennenberg (1984) verificou que as raízes das plantas não possuem um mecanismo eficiente para evitar a absorção excessiva de S, levando mesmo à toxidez; esse fato pode ser uma das causas da redução da produção de massa seca observada com o acréscimo das maiores doses aplicadas.

A exportação de nutrientes para as sementes é proporcional à quantidade requerida pela planta inteira, embora uma quantidade relativamente alta de S seja exportada para as sementes (OLIVEIRA; THUNG, 1988). Trabalhos realizados com trigo têm indicado a existência de correlação positiva entre o teor de proteína e o vigor das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

2.4 AMINOÁCIDOS

2.4.1 Importância dos aminoácidos

Os aminoácidos são moléculas constituídas por um grupo amina

(NH²), grupo de carbono denominado carboxílico (COOH), carbono assimétrico e uma cadeia que apresenta um radical, sendo esse responsável por diferenciá-los (ALVES, 2017). Existem cerca de 300 aminoácidos entre animais e plantas, porém apenas 20 são essenciais para o metabolismo das plantas, aqueles que se encontram em maiores quantidades, estão ligados a assimilação do carbono e nitrogênio, sendo constituinte das proteínas (FAGAN, et. al. 2020).

Os aminoácidos mais comuns na natureza são os alfa-aminoácidos, que possuem fórmula molecular geral RCH(NH₂) COOH. A função amino está localizada no carbono C2 ou carbono-alfa. O radical (grupo R) pode ser uma alquila ou arila, podendo conter os grupamentos hidroxila, amino, tiol, entre outros. O grande espectro de utilidades desses compostos é justificado por serem uma classe de moléculas heterogênea, que, de acordo com seu grupamento R, confere a elas características apolares, aromáticas, carga negativa, positiva ou neutra, além de atividade óptica, já que a maioria possui um centro quiral (NELSON; COX, 2011).

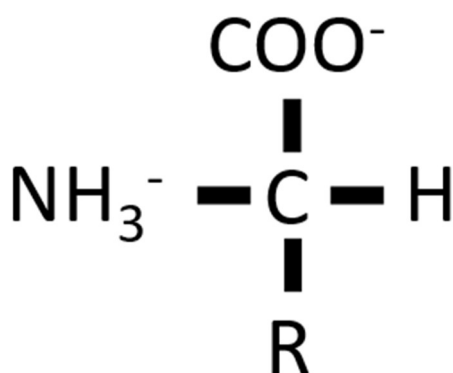


Figura 3: Representação da estrutura geral dos aminoácidos a pH neutro (Fonte: Próprio autor).

Os aminoácidos são a estrutura fundamental de proteínas e o que os diferencia é a cadeia lateral R. Dentro da nutrição humana, os aminoácidos são responsáveis pela definição, digestão, absorção e transporte. São divididos entre aminoácidos essenciais, não essenciais e semi-essenciais ou precursores.

AMINOÁCIDOS

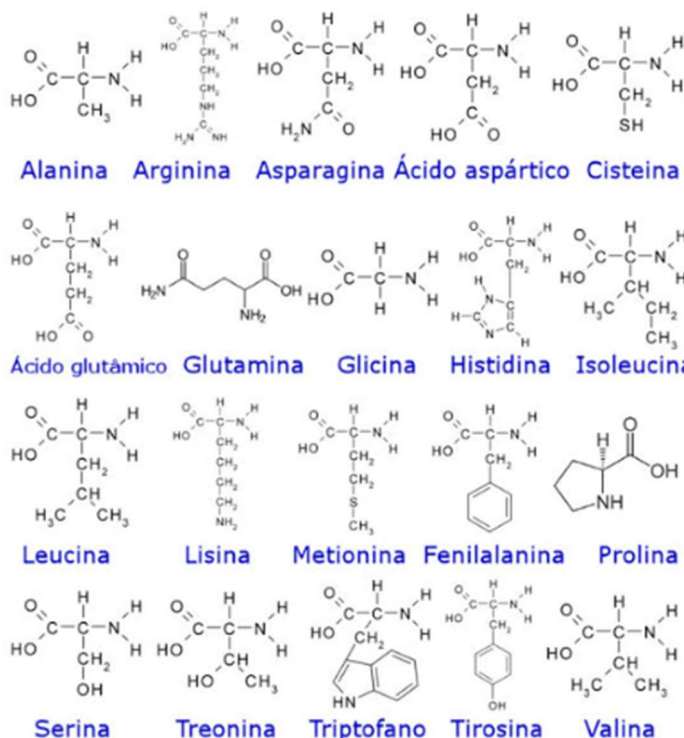


Figura 4: Estrutura dos vinte aminoácidos que compõem proteínas (Fonte: Próprio autor).

Os aminoácidos essenciais não são sintetizados pelo organismo ou não o podem ser com rapidez suficiente para satisfazer as necessidades do organismo. Exemplos: Isoleucina (ILE), Lisina (LYS), Leucina (LEU) Triptofano (TRP) Treonina (TRE), Metionina (MET), Fenilalanina (PHE), Valina (VAL), Histidina (HIS).

Os aminoácidos não essenciais, seguindo o pensamento inverso, podem ser sintetizados com facilidade pelo organismo, a partir de outros precursores. Exemplos: Alanina (ALA), Ácido aspártico (ASP), Asparagina (ASG), Ácido glutâmico (GLU), Serina (SER).

Já os aminoácidos semi-essenciais ou precursores são aqueles que podem ser sintetizados a partir de outros aminoácidos desde que os aminoácidos precursores estejam presentes em quantidade suficiente na dieta. São aminoácidos condicionalmente essenciais, ou seja, são os aminoácidos que, devido a determinadas patologias, não podem ser sintetizados pelo corpo humano. Assim, é necessário obter estes aminoácidos através da alimentação, de forma a satisfazer as necessidades metabólicas do organismo. Exemplos: Arginina (glutamina/glutamato), Cisteína (aspartato), Glutamina (ácido glutâmico, amônia), Glicina (serina, colina),

Prolina (glutamato), Tirosina (fenilalanina).

2.4.2 Aplicação Industrial dos aminoácidos

Os aminoácidos e seus derivados são de interesse em diversos setores econômicos, com destaque para o alimentício, tanto humano (FRIEDMAN, et. al. 1999), como animal (HANSEN; KNABE; BURGOON, 1993); e o da saúde humana.

Para que seus benefícios possam ser explorados comercialmente, devem existir métodos que viabilizem sua produção. Assim existem 3 métodos de obter aminoácidos aplicáveis, através de hidrólise de proteínas, síntese química, ou métodos biotecnológicos (catálise enzimática, a semi-fermentação e a fermentação) (IVANOV, et. al. 2013).

A hidrólise de proteínas permite a utilização de fontes proteicas de outros processos, que restaram como subprodutos, como o couro obtido a partir do abate dos bois. Na obtenção do couro bovino são gerados resíduos sólidos e líquidos, sendo que os principais resíduos sólidos são raspas e aparas. A raspa é constituída basicamente de colágeno (SUNDAR, 2010).

O colágeno é a proteína mais abundante nos vertebrados e constitui cerca de 30% das proteínas totais do corpo humano. O colágeno tipo I que está presente em tendões, ligamentos, ossos, entre outros, é o mais abundante correspondendo em até 90% do total de proteínas da derme (camada superior da epiderme) (PRESTES, et. al. 2013).

Há mais de 27 tipos de colágeno, sendo o tipo I o mais abundante, obtido principalmente de subprodutos do abate de animais de corte (bovino, suínos, aves e peixe), constituindo pele, ossos, cartilagem, entre outros (GÓMEZGUILLÉN, et. al. 2011). A partir do colágeno tipo I são obtidos alguns produtos como, gelatina, colágeno hidrolisado, fibra natural de colágeno e colágeno em pó, sendo que cada um apresenta características e aplicações distintas (PRESTES, et. al. 2013).

Colágeno hidrolisado é um composto polipeptídico obtido através de várias hidrólises (ZHANG; LI; SHI, 2005). Trata-se de uma proteína natural derivada do colágeno nativo, extraída de pele e ossos de bovinos, suínos, aves e peixes (PRESTES, et. al. 2012).

Os aminoácidos de colágeno são geralmente consumidos como

produtos alimentícios para suprir a perda de colágeno pela idade (KOUGUCHI, et. al. 2012). Podem ser encontrados em forma de suplemento alimentar, em formulações de alimentos, produtos farmacêuticos, cosméticos (ZHAGUE, et. al. 2011) e na agricultura (CASTRO, et. al. 2008).

A hidrólise do colágeno pode ocorrer de várias formas, sendo térmica, química ou enzimática, ou então uma combinação, dependendo do objetivo final. A tripla hélice do colágeno é estabilizada por pontes de hidrogênio, quando em aquecimento permanente o colágeno sofre quebra de ligações de hidrogênio e conseqüentemente perda da estrutura fibrilar (ANGELINI, et. al. 2011). A degradação térmica do colágeno nativo ocorre a temperaturas superiores a 40 °C (ZHANG; LI; SHI, 2005).

Tratamentos químicos, como o emprego de ácido acético, provocam intumescimento do tecido e dissolução das fibras de colágeno promovendo melhores condições para ação da hidrólise por enzimas. Este tratamento não degrada a estrutura nativa do colágeno, portanto a degradação das ligações cruzadas covalentes das regiões telopeptídicas deve ser realizada com o uso de enzimas, das quais a pepsina é a mais utilizada (SIMÕES, 2013).



Figura 5: Esquema de Hidrólise de proteínas (Fonte: Próprio autor).

A utilização de enzimas como catalizador de reações químicas vem sendo utilizada a milhares de anos. Sendo uma forma rápida e eficaz para catalisar uma reação química e diminuir sua energia de ativação. Possuindo uma ação biológica altamente específica, permitindo a reação com determinados substratos. A velocidade da reação catalítica das enzimas varia de acordo com concentração enzima/substrato, temperatura e pH (KIELING, 2002).

A hidrólise enzimática vem ganhando papel importante nas

indústrias de extração de colágeno. Onde vários estudos apresentam eficiência do uso de enzima em colágenos para produção de aminoácidos bioativos (GÓMEZ-GUILLÉN et. al. 2011). Com aquecimento o colágeno perde a conformação de tripla hélice e se transforma em gelatina e o resultado da posterior degradação enzimática elimina a habilidade de formação de gel, aumentando sua solubilidade e o transformando em peptídeos de colágeno (KOUGUCHI, et. al. 2012).

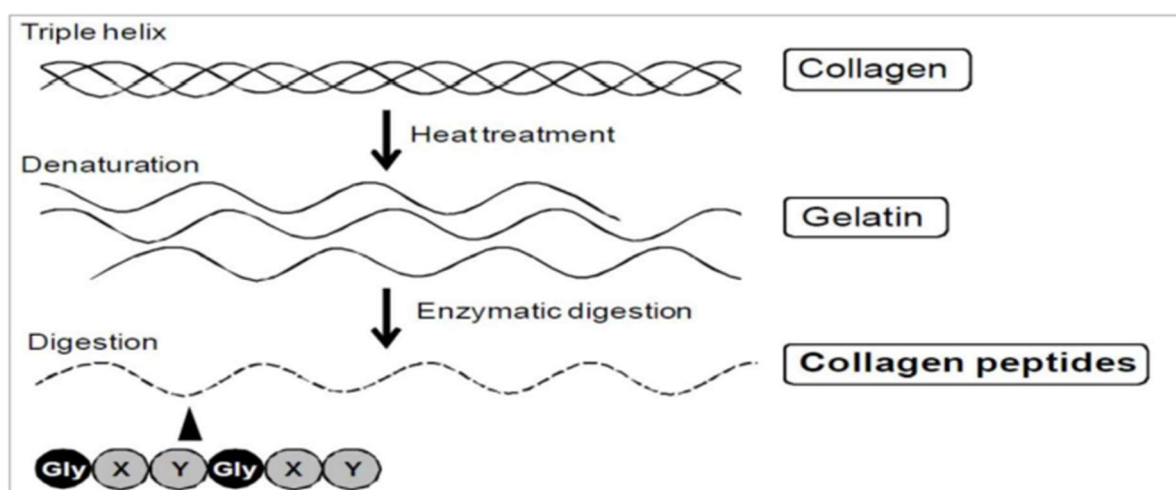


Figura 6: Esquema do Tratamento Térmico e Enzimático do Colágeno. (Fonte: KOUGUCHI, 2012).

A enzimas com alta especificidade são geralmente usadas para quebrar a molécula de colágeno, porém as frações de peptídeos produzidas não são tão pequenas. Dessa forma, existem algumas alternativas de enzimas para degradação de colágeno: tripsina, quimotripsina e pepsina, que clivam somente ligações peptídicas envolvendo o grupo carboxílico de aminoácidos básicos. Existem também as collagenases, possuindo sua origem de bactérias, que são capazes de hidrolisar as porções apolares da cadeia de colágeno, e dessa forma se tornam uma ferramenta complementar. A aplicação conjunta de dois grupos de enzimas pode permitir uma hidrólise seletiva devido a suas especificidades aplicadas em diferentes pontos da cadeia de colágeno (RAMACHANDRAN, 1967).

Consiste na quebra de proteínas até a obtenção de aminoácidos (unidade fundamental destas proteínas). A hidrólise das proteínas ocorre no processo de aquecimento prolongado de uma proteína na presença de ácido forte ou base forte diluídos formando assim α -aminoácidos. Este método possui baixo rendimento. Esse método é utilizado para obter L-cisteína, L- cistina, L- leucina,

Lasparagina e L- tirosina colágeno (RAMACHANDRAN, 1967).

A fermentação possui diversas vantagens, entre elas o fácil escalonamento e a utilização de matéria prima barata, mas não permite a produção de todos os aminoácidos. Por fim, a síntese enzimática permite a produção de compostos opticamente puros, mas necessita de matéria-prima específica (IVANOV, et. al. 2013).

Existem três formas para produção microbiológica. O primeiro é por fermentação direta de aminoácidos utilizando diferentes fontes de carbono, como glicose, frutose, melaço. As fermentações que utilizam metanol como matéria-prima tem baixo custo deste substrato, porém apresenta baixo rendimento, sendo pouco utilizado comercialmente. A segunda alternativa é por conversão de produtos intermediários baratos, via biossíntese. Por exemplo, a glicocola, que é barata, pode ser convertida em L – serina. O terceiro é mediante o uso de enzimas ou células imobilizadas, uma vez que em processos contínuos implicam em reatores de enzimas unidas a membrana (IVANOV, et. al. 2013).

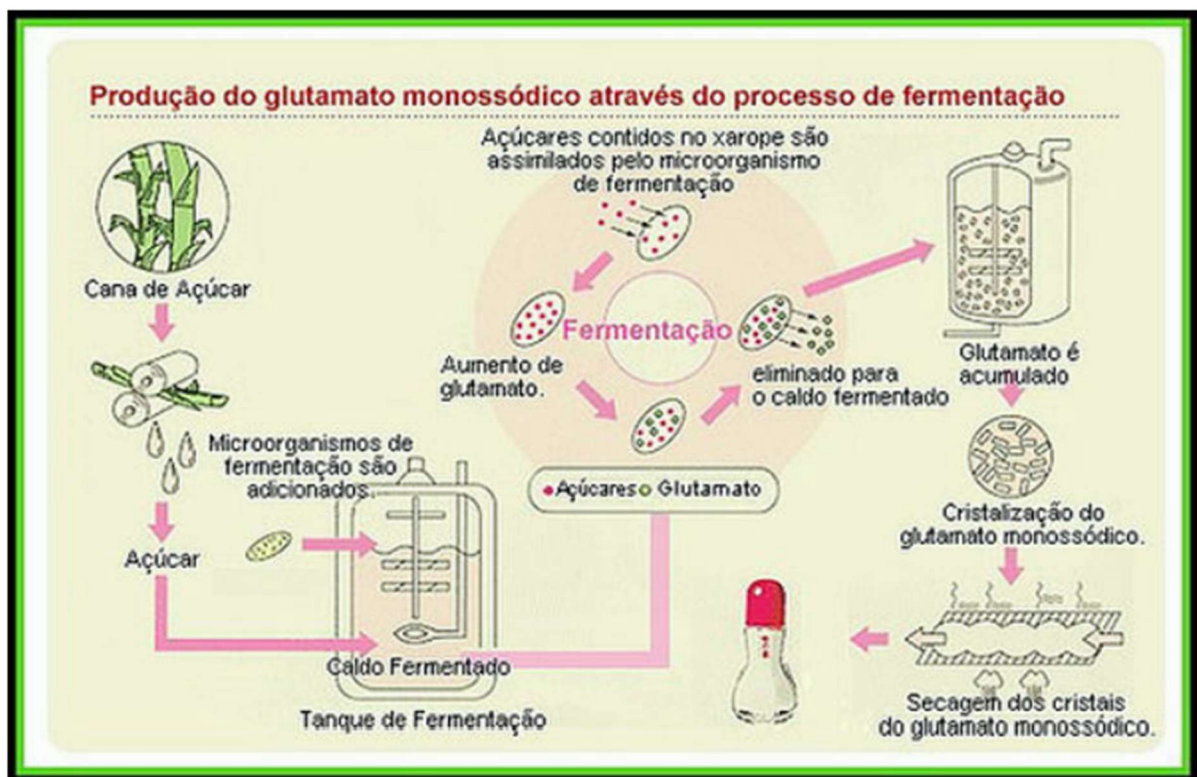


Figura 7: Produção do glutamato de monossódico, Fonte: Cibele Rosalin).

2.4.3 Utilização de aminoácidos na agricultura

Os aminoácidos são uma tecnologia que tem sido usado na agricultura a várias décadas, em diversas culturas, em todo o mundo. Assim tem crescido o número de empresas, que ofertam esses produtos, a base de aminoácidos. O mesmo com as controvérsias sobre sua utilização, uma vez que a aplicação isolada dos mesmos raramente tem mostrado efeitos significativos na produtividade vegetal (CASTRO, et. al. 2008).

Existem várias hipóteses sobre a atribuídas a aplicação de aminoácidos, pensando na sua importância na parte da fisiologia da planta, sendo as principais funções: síntese de proteínas, compostos intermediários dos hormônios vegetais endógenos, efeito quelatizante em nutrientes e outros agroquímicos, maior resistência ao estresse hídrico e de alta temperatura e maior resistência ao ataque de doenças e pragas (CASTRO, et. al. 2008).

Os aminoácidos recebem assim a classificação de antiestressantes, compostos capazes de agir em processos morfofisiológicos do vegetal (CASTRO, et. al. 2008). São compostos descritos como produtos que podem reduzir o uso de fertilizantes e aumentar a resistência ao estresse causado por temperatura e déficit hídrico (RUSSO; BERLYN, 1990).

Existe uma alta permeabilidade da cutícula da planta as proteínas hidrolisadas quando aplicadas via pulverização foliar, melhorando a absorção de outras fontes nutrientes, quando aplicados em conjunto ocorre o processo de quelatização do mineral, aumentando a penetração na membrana cuticular e a velocidade maior do que o previsto por difusão simples (ASHMEAD, et. al. 1986).

A sua absorção no tecido vegetal é mais rápida quando as fontes de nutrientes encontram-se complexados em água, devido ao aumento da permeabilidade da cutícula, quando uma aplicação foliar de aminoácidos, onde a carga iônica do metal é neutralizada pelos aminoácidos de uma maneira semelhante aos quelatos sintéticos. Isso evita que o metal seja submetido às forças de atração e repulsão presentes na cutícula da folha (HSU, 1986).

Os aminoácidos podem ser transportados através da membrana plasmática da célula por meio de transportadores tipos simporte (TAIZ; ZEIGER, 2017). Estudos com aminoácidos marcados demonstraram que as plantas de *Tillandsia paucifolia* e soja podem ser capazes de absorver aminoácidos livres

(NYMAN, et. al. 1987; BENZING, et. al. 1976 e NELSON; GORHAM, 1959)

Hau et. al. (1986), verificou que o nutriente ligado ao aminoácido, formando um quelato, é absorvido mais rapidamente do que quando livre em solução. Pesquisas realizadas por Brandão (2007), com a cultura de cana-de-açúcar comprovam a eficiência dos aminoácidos, mesmo quando aplicado somente nos toletes o resultado já foi superior ao tratamento controle. Porém a combinação da aplicação do aminoácido nos toletes e via foliar proporcionou os maiores incrementos na produtividade quando comparado com o controle, ocorrendo um aumento de 17,28 t ha⁻¹, ou seja, um acréscimo de 15,5%.

Kikuti; Tanaka (2005) avaliaram a aplicação de aminoácidos em sementes de feijão e concluíram que na aplicação de aminoácidos não ocorreu efeito positivo no vigor de sementes, porém ocasionou melhor qualidade das sementes avaliadas em teste de germinação.

Canto; Neto (2001), realizaram um experimento objetivando avaliar os efeitos da aplicação de aminoácidos, macronutrientes e micronutrientes, via foliar, na cultura de feijoeiro em condições de campo, e observaram diferença significativa nos parâmetros de produção de grãos, provavelmente devido à ação conjunta do Mo, Co, associados com outros nutrientes e aminoácidos. Barros; Júnior (2001), em experimento para avaliação da eficiência de aplicações foliares de zinco, manganês e aminoácidos na cultura de milho, não obtiveram nenhuma diferença significativa para os parâmetros de produtividade.

Malavolta (1980) demonstrou que a exigência de S no tomateiro poderia ser suprida através do fornecimento de metionina e cisteína, dois aminoácidos que contém o elemento. Entretanto Mello et. al. (1983) aplicaram um produto a base de cisteína no milho e não obtiveram resultados significativos para a produção de grãos, massa de sementes e teor de N, P e S em folhas e grãos.

Considera-se, a partir de algumas evidências que alguns aminoácidos podem agir como protetores das plantas da ação de sais minerais e outros agroquímicos ou, ao contrário, incrementar a absorção e o efeito desses produtos (CASTRO, 2006). Serciloto; Castro (2005) verificaram um incremento significativamente a massa seca de plantas de feijoeiro, aumentarem o número de grãos e a massa de grãos colhidos, bem como um efeito protetor contra o efeito do herbicida glifosato. Não há nenhum relato de trabalhos com avaliações enzimáticas

relacionadas com aplicações de fertilizantes foliares a base de aminoácidos livres.

Recentemente, Castro et. al. (2011), em experimento com aplicação de Flororgan em feijão, constataram que as plantas que tinham sofrido um estresse de alta temperatura durante 4 dias seguidos em casa-de-vegetação, tiveram um aumento na altura 10 dias após a aplicação do produto na dosagem de 2,5 L ha⁻¹. Além de obterem aumento no número de vagens, número de grãos e massa dos grãos através das dosagens de 1,5, 2,0 e 2,5 L ha⁻¹; comprovando dessa forma, o efeito anti-estresse do produto.

Alguns benefícios proporcionados por aminoácidos são citados por Brandão (2007): proporcionam equilíbrio metabólico, melhor na fotossíntese, aumentando a tolerância a estresses bióticos e abióticos, melhor absorção e translocação de nutrientes aplicados via foliar, sistema radicular mais desenvolvido e com mais vigor, regulam as atividade hormonais das plantas, proporcionam maior tolerância ao stress hídrico e geadas, maior florescimento das plantas e aumento da qualidade dos produtos colhidos.

A interação com micronutrientes têm importante função metabólica, por serem catalisadores de reações, alteram as propriedades bioquímicas, reduzindo os compostos fenólicos, inibidores de pragas e doenças e acúmulo de compostos orgânicos (HENZ, 2008).

Um aminoácido importante para a planta é a glicina, compondo 70% das proteínas ligadas à formação da parede celular, além de mitigar efeitos dos estresses térmicos (RINGLI; KELLER; RYSER, 2001). Outros exemplos seriam o triptofano e a metionina, responsáveis por serem precursores hormonais, relacionado à síntese de auxina, e etileno, respectivamente (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A glutamina e o glutamato são também muito importantes no crescimento e desenvolvimento das plantas, por estarem relacionados ao metabolismo do nitrogênio (FAGAN, et. al. 2020). Além disso, o glutamato está envolvido na produção de células de clorofila, devido a síntese de δ-aminolevulínico (TEIXEIRA, 2016). A cisteína está ligada à produção de fitoquelatinas e como a prolina, está envolvida na defesa contra radicais livres, possuindo uma ação antioxidante (FAGAN, et. al. 2020).

Nannir; Bueno (2017), observaram um aumento de quase oito por cento no peso médio de frutos de tomates, com tratamento foliar, com cinco aplicações composto de 80% de aminoácidos livres. Outros autores como Picolli et

al. (2009), observaram sua utilização no tratamento de sementes e na fase de perfilhamento, que proporcionaram incremento de quase 11% no rendimento final de grãos, quando comparado à testemunha.

Em contrapartida, trabalhando com várias aplicações no feijão, Kikuti; Tanaka; 2005, não obtiveram resultados significativos quanto à produtividade, possuindo até mesmo um tratamento sem aplicação com rendimento melhor. Corroborando por Ciotti; Santos; Cavalvanti; 2008, que também observaram que quando tratado via foliar, as plantas de trigo tiveram menor número de grãos por espiguetas e menor número de espiguetas por espiga, trazendo prejuízos na produção final. Da mesma forma, Gazola; Zucareli; Silva (2017), foi estudado os efeitos da aplicação foliar na fase de emborrachamento de aminoácidos (nas doses: 0, 10, 20, 30 L ha⁻¹), e avaliaram as características agrônômicas e no desempenho produtivo de cultivares de trigo, e concluíram que não houve incremento no rendimento de trigo.

Segundo Floss; Floss (2007), a aplicação foliar dos aminoácidos não tem como objetivo de suprir a sua necessidade que a cultura tem em aminoácidos se seguira para a realização de síntese protéica, mas sim ativar o metabolismo fisiológico da planta.

Pesquisas realizadas por Brandão (2007), com a cultura da cana-de-açúcar, resultaram na eficiência do uso de aminoácidos, mesmo quando aplicado somente nos toletes. Quando adicionada aplicações e via foliar proporcionou os maiores incrementos, quando comparado com a testemunha, um aumento de 17,28 t há⁻¹ (15,5% a mais). Já, Kikuti; Tanaka (2005), avaliaram em sementes de feijão e concluíram que não ocorreu efeito positivo no vigor, porém ocasionou uma melhor germinação, não alterando produtividade. De acordo com Deune et. al. (2015) a aplicação de 22 micronutrientes via foliar não foi capaz de aumentar o número de vagens por planta de soja.

2.5 NUTRIENTES E AMINOÁCIDOS NA PRODUÇÃO VEGETAL

São poucos os estudos que relatam o efeito conjunto da aplicação foliar de S e aminoácidos. Especificamente no trigo, esses estudos são escassos.

Landry; Lagris-dalaporte; Ferron (1991) observou melhorias

metabólicas na planta de trigo, quando utilizado fontes de S^o aplicado via foliar em situações de deficiência do elemento promoveu aumento da absorção do elemento e mudanças no metabolismo do nitrogênio. Mitchell; Kettlewell (1998), verificou melhorias na qualidade da farinha do trigo através da aplicação de S^o no final do período de crescimento da cultura.

Mayer, 2014 que utilizou cinco doses (0, 2, 4, 8 e 10 kg ha⁻¹ de S) de S^o via foliar no período de perfilhamento e concluiu que a aplicação de doses crescentes de S^o via foliar no perfilhamento não promove diferenças significativas com relação a produtividade, aos componentes de produção e peso hectolitro dos grãos de trigo.

Na cultura da soja foram observados resultados diferentes, Vitti et. al. (2007) evidenciou que o S^o aplicado nas folhas é assimilado pela planta de soja independente da dose e da natureza da fonte, onde a aplicação foliar se mostrou mais eficiente que a aplicação via solo.

Mendes; Landgraf; Rezende, (2014) verificou a associação de diferentes doses de fertilizantes nitrogenados e sulfatados, na manifestação de caracteres agrônômicos na cultura do milho e observou sua dependência do estado nutricional das plantas para desempenhar seu máximo potencial a resposta da cultura à aplicação de nitrogênio e S em cobertura, sendo em função da formulação e da dose.

Pensando em aplicações com aminoácidos, podem destacar resultados em que promoveram a estruturação de plantas com uma nutrição mais completa, apresentando maiores teores de proteínas totais solúveis nas folhas e maior atividade de enzimas. Isso acontece devido a presença dos aminoácidos em conjunto com os nutrientes na planta (LAMBALIS, 2011).

Em contrapartida, existem experimentos mostrando que a aplicação de adubo foliar em soja contendo micronutrientes complexados com aminoácidos não proporcionam aumento da produtividade (MEROTTO JR., 2015).

Corroborando outros experimentos com a aplicação conjunta de aminoácidos com micronutrientes observaram a falta de significância dos componentes produtivos peso de cem sementes e o número de grãos para soja não influenciadas pela aplicação de aminoácidos combinados com micronutrientes aplicados via foliar (MEROTTO JR., 2015).

Dapper (2016) que trabalho com a aplicação de um produto a base

de cobalto, molibdênio, zinco, S e aminoácidos e avaliou a produtividade da soja e afirma que os aminoácidos utilizados não são capazes de interferir no desenvolvimento da cultura nas condições em que o experimento foi realizado.

Porém Lima et. al. (2009) mostra que a aplicação de ureia em conjunto com aminoácidos resultou em um aumento no teor de proteínas em plantas jovens de milho (*Zea mays*). Mesmo com o aumento de proteínas encontradas na planta, aplicações de ureia em conjunto com um produto a base de aminoácidos não foi observado um aumento na produtividade na cultura do milho (GAZOLA, 2014).

O trigo é uma cultura que assim como o milho, também necessita de aplicações de nitrogênio em cobertura. O uso do produto a base de aminoácidos em trigo não traz benefícios para a cultura, não sendo possível perceber efeitos benéficos fisiológicos ou morfológicos para as plantas. Ainda foi percebido efeito negativo em tratamentos com doses elevadas do produto, não havendo influência na produtividade (CIOTTI; SANTOS; CAVALCANTI, 2008).

O S, está diretamente relacionado com a formação de aminoácidos essenciais (cistina e metionina) sendo matéria prima para a constituição de proteínas, em dando condições para um melhor desenvolvimento da cultura, obtendo melhores resultados produtivos e de qualidade da matéria, principalmente para o trigo que tem sua qualidade diretamente relacionado com o seu teor de proteína (BRANDÃO, 2007). Porém são escassos resultados sobre a associação de S com aminoácidos.

Podemos verificar uma grande quantidade de trabalhos tanto divergentes quanto convergentes da aplicação tanto de aminoácidos quanto de S, porém podemos verificar que a associação dos dois é um estudo que ainda carece de dados.

3 ARTIGO A

Qualidade de grãos de trigo produzido com doses de enxofre elementar nanoparticulado associado com aminoácidos via foliar

Resumo

O enxofre (S) e os aminoácidos desempenham um papel crucial na qualidade do grão de trigo, pois são essenciais para a formação de proteínas, componentes essenciais para todos os organismos. A suplementação foliar dessas substâncias é uma estratégia de manejo que visa complementar o que não é fornecido pelo solo, sendo uma aplicação uniforme e de baixo custo. No entanto, são necessários mais estudos para avaliar sua eficácia. Este trabalho teve como objetivo verificar a qualidade dos grãos de trigo produzidos com a aplicação foliar de S elementar (S⁰) e seu efeito associativo com aminoácidos. O experimento foi realizado em Londrina-PR, e Sertaneja-PR, na safra de 2022, e na em Londrina-PR, Faxinal-PR, na safra de 2023, totalizando quatro ambientes. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados (DBC) em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições, sendo os fatores: cinco doses de S⁰ (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associadas ou não com aminoácidos (250 ml ha⁻¹). Foram avaliadas as seguintes características de componentes de rendimento: espigas por metro quadrado, grãos por espiga, massa de mil grãos, peso hectolitro, produtividade em quilos por hectare e as características químicas dos grãos análises de proteína bruta e macronutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes minerais (Cu, Fe, Mg e Zn). Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homogeneidade dos erros, e após atender aos pressupostos, foram realizadas as análises de variância e regressão (p≤0,05). Entre os quatro ambientes de estudo, observou-se significância para o efeito do tratamento com doses de S⁰ para a variável número de grãos por espiga (NGE) em Londrina (2022) e para teor de cálcio nos grãos (Ca g kg⁻¹) em Sertaneja-PR. Em ambos os casos, a análise de regressão mostrou um resultado linear decrescente, indicando que quanto maior a dose de S⁰, menor foi o número de grãos por espiga e menor foi o acúmulo de cálcio nos grãos. Para o efeito isolado do tratamento com aminoácidos, foi observado um melhor resultado para a variável número de grãos por espiga (NGE) em Londrina (2022) e para a característica química dos grãos, teor de cálcio em Sertaneja-PR. Em ambos os casos, houve um aumento significativo, com sete espigas a mais e 0,26 g a mais de cálcio do que na testemunha aplicada sem aminoácidos. Para as demais variáveis em ambos os municípios, não foi observado efeito significativo da interação dos tratamentos dose de S⁰ e associação com aminoácidos) e seu efeito isolado, possivelmente devido à boa disponibilidade de S e matéria orgânica encontrada no solo das áreas, juntamente com as condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da cultura nesses anos de ensaio. Assim, neste estudo, a aplicação foliar de S⁰ e aminoácido não alterou a qualidade dos grãos nas condições edafoclimáticas desses ensaios.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; Enxofre; Componentes produtivos; Proteínas; Rendimento.

Quality of wheat grains produced with doses of nanoparticulate elemental sulphur associated with amino acids via foliar application

Abstract

Sulphur (S) and amino acids play a crucial role in the quality of wheat grain, as they are essential for the formation of proteins, which are essential components for all organisms. Foliar supplementation of these substances is a management strategy that aims to complement what is not supplied by the soil, and is a uniform and low-cost application. However, more studies are needed to assess its effectiveness. The aim of this study was to verify the quality of wheat grains produced with the foliar application of elemental S (S^0) and its associative effect with amino acids. The experiment was carried out in Londrina-PR, and Sertaneja-PR, in the 2022 harvest, and in Londrina-PR, Faxinal-PR, in the 2023 harvest, totaling four environments. The experimental design used was entirely randomized blocks (DBC) in a 5x2 factorial scheme, with four replications, the factors being: five doses of S^0 (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associated or not with amino acids (250 ml ha⁻¹). The following yield component characteristics were evaluated: ears per square meter, grains per ear, thousand-grain mass, hectolitre weight, yield in kilograms per hectare and the chemical characteristics of the grains - crude protein analysis and mineral macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) and mineral micronutrients (Cu, Fe, Mg and Zn). The data was analyzed for normality and homogeneity of errors, and after meeting the assumptions, the following analyses were carried out. In both cases, the regression analysis showed a decreasing linear result, indicating that the higher the dose of S^0 , the lower the number of grains per ear and the lower the accumulation of calcium in the grains. For the isolated effect of the amino acid treatment, a better result was observed for the variable number of grains per ear (NGE) in Londrina (2022) and for the chemical characteristic of the grains, calcium content in Sertaneja-PR. In both cases, there was a significant increase, with seven more ears and 0.26 g more calcium than in the control applied without amino acids. For the other variables in both municipalities, there was no significant effect from the interaction of the treatments (dose of S^0 and association with amino acids) and their isolated effect, possibly due to the good availability of S and organic matter found in the soil of the areas, along with the favorable climatic conditions for the development of the crop in these years of testing. Thus, in this study, foliar application of S^0 and amino acids did not alter grain quality under the soil and climate conditions of these trials.

Keywords: *Triticum aestivum*; Sulfur; Productive components; Proteins; Performance.

3.1 INTRODUÇÃO

O trigo é uma das principais culturas no inverno em território brasileiro, sendo uma ótima alternativa para suceder o cultivo de verão, por trazer muitas vantagens agronômicas, como na estruturação do solo, quebra de ciclo de doenças e pragas e controle de plantas daninhas. O aumento no rendimento da produção da cultura vem sendo obtido pela utilização de cultivares modernas, aliado ao uso racional e integrado dos recursos de solo, clima e técnicas de manejo (SILVA; FERREIRA; NOGUEIRA JUNIOR, 2004).

O Brasil é o 8º maior país importador de trigo do mundo, mesmo com uma grande disponibilidade de terra e tecnologia para sua produção. Na safra de 2023 sua área cultivada foi de 34,7 milhões hectares, com produtividade de 2.331 kg ha⁻¹ e produção de 8,09 milhões de toneladas (CONAB, 2024), representando um avanço no cultivo da cultura se aproximando, da subsistência de cultivo.

Esse aumento de rendimento está diretamente relacionado com vários fatores como a genética, ambiente e a nutrição de plantas, um investimento para melhorar as condições de fertilidade do solo, iniciando pela correção do solo, com a utilização de corretivos agrícolas e adubos, esse manejo pode responder em aumento de até 50% na produtividade das culturas (LOPES; GUILHERME, 2007). Devido a estes números, nas últimas décadas tem sido observado um aumento da utilização de adubos no cultivo de trigo, com destaque para a utilização de formulados NPK e a utilização de fertilizantes nitrogenados em cobertura (EMBRAPA, 2017).

Todavia, além desses nutrientes essenciais primários, existem outros que também são essenciais para as plantas, como o Cálcio, o Magnésio, o enxofre (S), o ferro (Fe), o zinco (Zn), o cobre (Cu), o boro (B), o molibdênio (Mo), o manganês (Mn), o Níquel e o cloro (Cl), sendo estes encontrados e disponibilizado para as plantas através do solo, (GUERRA, 2015).

Dentre esses nutrientes essenciais, o S é um macronutriente secundário, exigido em Kg, sua absorção ocorre através das raízes quando este elemento é disponibilizado na forma sulfatada. Esse elemento químico auxilia no aumento da oferta de alguns aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e de

proteínas que conseqüentemente gera um aumento no tamanho e na qualidade dos grãos, além disso, melhora de forma natural a defesa do vegetal (patógenos e pragas), melhorando também o controle hormonal, gerando crescimento e diferenciação celular (FIORINI, et. al. 2016).

Outra tecnologia quem tem sido adotada são aminoácidos obtidos através de hidrolisados de proteínas animais, devido a suas várias funções na planta tem-se destacado a aplicação via foliar nas lavouras comerciais, procurando resultados em situações de estresse ou como ativador do metabolismo, servindo como alternativa de manejo, além de estarem ligados a formação de proteínas (FLOSS; FLOSS. 2007 E RUSSO; BERLYN, 1990).

Devido ao seu papel na formação de proteínas, e sua importância para a qualidade da produção de grãos, a hipótese do trabalho consiste em analisar se o S^o juntamente com os aminoácidos aplicados via foliar durante a fase reprodutiva da cultura do trigo, irão suprir as suas necessidades resultando em melhores condições de desenvolvimento e conseqüentemente tendo um melhor rendimento e qualidade de grãos.

O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade de grãos a produção de trigo com aplicação via foliar de enxofre elementar e seu efeito associativo com aminoácidos.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em quatro ambientes de cultivo na segunda safra dos anos agrícolas de 2022 e 2023. No ano de 2022 foi instalado no município de Londrina-PR e no município de Sertaneja-PR, já no ano de 2023 foi instalado novamente no município de Londrina-PR e no município de Faxinal-PR.

O solo da estação experimental em Londrina-PR é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVE) com 65% de argila, 25% de silte e 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23° 20' 23.45 Sul e 51° 12' 32.28" Oeste, e altitude de 560 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual: 22°C, média máxima anual: 27°C, média mínima anual: 17°C.

O solo da estação experimental do município de Sertaneja-PR é

caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico com 65% de argila, 25% de silte, 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 22° 85' 00" S e 50° 87' 45' e altitude de 520 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual: 21,9°C, média máxima anual: 26,9°C, média mínima anual: 16,9°C.

O solo da estação experimental do município de Faxinal-PR é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVe) com 65% de argila, 25% de silte e 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localiza-se a uma latitude 23°56'27" sul e a uma longitude 51°35'16" oeste, com altitude de com 820 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual é de 19°C, sendo a média anual das máximas de 23°C e média anual das mínimas de 15°C.

Tabela 1: Caracterização Química dos solos utilizados no experimento nos municípios de Londrina-PR, Sertaneja-PR e Faxinal-PR. 2022/2023. Interpretação feita de acordo com Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2006).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO															
Local	PH (CaCL)	MOS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ²⁺	P	K	CTC	V	S	B	Zn	Mn	Cu	Fe
		g dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³		%	mg dm ⁻³					
Londrina-PR 2022	4,2	9,3	4,25	1,14	0	13,6	0,56	10,9	64,1	13	0,49	1,8	72,5	13,8	16
Nível	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Muito Alto	Médio	alto	Muito Alto	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto
Sertaneja-PR 2022	5,08	22,94	5,97	1,8	0	37,61	0,4	14,54	56,32	31,13	0,77	28,42	423,5	29,18	85,19
Nível	Alto	Médio	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Médio	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto
Londrina-PR 2023	4,8	10,3	6,33	1,5	0	11,6	0,53	12,3	67,9	13	0,49	1,8	72,5	13,8	16
Nível	Médio	Médio	Muito Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Muito Alto	Médio	Alto	Muito Alto	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto
Faxinal-PR 2023	4,82	49,49	3,51	1,46	0,47	18,87	0,25	5,72	39,84	7,72	0,83	0,8	19,56	0,77	166,55
Nível	Médio	Alto	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Médio	Baixo	Baixo	Muito Alto	Muito Alto	Baixo	Médio	Médio	Muito Alto

Fonte:

adaptada

de

Pauletti,

2006.

O delineamento dos experimentos foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por 14 linhas de sete metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 17 centímetros. Foi considerada área útil de cada parcela as seis linhas centrais, desprezando-se as quatro linhas das duas extremidades (bordadura).

O primeiro fator experimental foi a associação a associação ou não com os aminoácidos (proteína animal hidrolisada) e o segundo fator experimental foi as cinco doses de S^o via foliar, 0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹, com um volume de calda de 300 L ha⁻¹, durante a fase de Antese, correspondente ao código 6 de acordo com escala de Zadoks et al. (1974).

Os aminoácidos utilizados no trabalho foram obtidos a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno), obtida do subproduto da fabricação de produtos à base de couro animal, ele possuía em sua composição (Tabela 2).

Tabela 2: Perfil de aminoácidos e de aminoácidos livres presentes no produto produzido a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno).

Perfil de aminoácidos				
Parâmetro	Resultado	Unidade	Valor estimado	Unidade
Ácido Aspártico	3,07	%	2,51	%
Ácido Glutâmico	5,62	%	4,65	%
Alanina	5,73	%	4,5	%
Arginina	2,02	%	2,15	%
Fenilalanina	1,12	%	0,95	%
Glicina	13,49	%	11,35	%
Histidina	0,41	%	0,29	%
Isoleucina	0,75	%	0,61	%
Leucina	1,82	%	1,48	%
Lisina	1,85	%	1,59	%
Prolina	8,26	%	6,76	%
Serina	0,36	%	0,54	%
Tirosina	<0,04	%	0,31	%
Treonina	0,23	%	0,28	%
Valina	1,49	%	1,1	%
Cistina + Cisteína	0,03	%	0,03	%
Metionina (total)	0,54	%	0,11	%
Colágeno	360	mg/g	100	%
Perfil de aminoácidos livres				
Parâmetro	Resultado	Unidade	Valor estimado	Unidade
Ácido Aspártico	0,05	%	0,03	%
Ácido Glutâmico	0,09	%	0,03	%

Alanina	0,32	%	0,13	%
Arginina	<0,01	%	0,022	%
Fenilalanina	0,03	%	0,02	%
Glicina	1	%	0,41	%
Histidina	<0,01	%	0,01	%
Isoleucina	0,88	%	0,02	%
Leucina	<0,01	%	0,05	%
Lisina	0,03	%	0,02	%
Prolina	0,22	%	0,1	%
Serina	0,24	%	0,13	%
Tirosina	<0,01	%	0,012	%
Treonina	0,01	%	0,013	%
Valina	<0,01	%	0,01	%
Cisteína	0,02	%	0	%
Metionina	0,07	%	0,01	%
Triptofano	<0,01		0,01	%
Colágeno	360	mg/g	100	%

Fonte: adaptado de Eurofins, 2023.

Já sua composição química: 7,4% de Nitrogênio total, 0,0007% de Fósforo total, 0,002% de Potássio total, 0,070% de Cálcio total, 0,001% de Magnésio total, 0,070% de Enxofre total, 0,0001% de Boro, <0,0001% de Cobre, 0,001% de Ferro total, <0,0001% de Manganês total, 0,001% de Zinco total, <0,0001 de Molibdênio total, <0,0001% de Cobalto total, 1,30% de Cloretos total, 0,011% de Silício total, 5,40% de Sódio, 16,5% de Carbono Orgânico Total, 6,1 pH (CaCl₂ 0,01M na relação 1:5), 16,4 mS cm⁻¹ e 1,311 g cm⁻³ de densidade (a 20°C).

O Enxofre elementar (S⁰) nanoparticulado utilizado neste estudo, possui como características: natureza física: fluido (suspensão concentrada), relação soluto/ solvente: 200mL 1L⁻¹ de água, sua composição química é de 1,0% p p⁻¹ (13,6 g L⁻¹) de Nitrogênio total, 50,0% p p⁻¹ (690 g L⁻¹) e densidade de 1,38 g cm⁻³.

A cultivar utilizada na área do experimento de Londrina-PR, nas safras de 2022 e de 2023, foi a TBIO Ponteiro, que possui a classificação de pão, força de glúten de 329, estabilidade de 18,6 minutos, grão duro, cor vermelha e peso de mil sementes de 35g. Possui ciclo médio tardio, espigamento médio tardio, altura de plantas média alta, comportamento à geadas resistente/ moderadamente resistente, comportamento a acamamento moderadamente resistente, comportamento à debulha natural moderadamente resistente.

A sua recomendação é para uma densidade de 300 a 330 plantas finais m⁻², para todos os níveis de investimento. Permite semeaduras antecipadas com menor risco de perdas por geadas, dado seu ciclo vegetativo mais longo, e

apresenta resistência a mancha amarela e giberela como doenças-alvo (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

A cultivar utilizada na área do experimento do distrito de Sertaneja-PR, na safra de 2022, foi a RBO Combatente, que possui a classificação de pão, com tendência a ser melhoradora, e estabilidade de 10,4 minutos.

Possui ciclo médio tardio 68 dias para florescer e altura de plantas média de 73 cm. A sua recomendação é para uma densidade 240 a 260 plantas finais/m² (TAMONA SEMENTES, 2023).

A cultivar utilizada na área do experimento no município de Faxinal-PR, na safra de 2023, foi a JVC Cerne, que possui a classificação de pão, com tendência a ser melhoradora, e estabilidade de 10,4 minutos.

Possui ciclo médio tardio 68 dias para florescer e altura de plantas média de 73 cm. A sua recomendação é para uma densidade 240 a 260 plantas finais/m² (TAMONA SEMENTES, 2023).

Foram realizados os tratamentos culturais de acordo com as Indicações técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para o Estado do Paraná (SILVA; BASSOI; FOLONI, 2017). A aplicação de fungicidas foi como controle erradicativo no aparecimento dos primeiros sintomas.

Na área de Londrina-Pr, no ano agrícola de 2022, foi instalado no dia 27/04/2022. O manejo plantas daninhas foi realizado antes de instalar a cultura na área no dia 18/04/2022, foi utilizado os herbicidas Glifosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D 2 L ha⁻¹, seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2022 de Topic (Clodinafope-propargil) na dose de 2 L ha⁻¹ e dia 15/06/2022 de 2.4-D na dose de 2 L ha⁻¹. O manejo nutricional de 250 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, junto a semeadura ocorreu no dia 27/04/2022, mais a aplicação a lanço de 200 Kg ha⁻¹ de Sulfato de amônia, no dia 09/06/2022. A colheita realizada no dia 10/09/2022

Na área de Sertanópolis-Pr, no ano agrícola de 2022, foi instalado no dia 20/05/2022. O manejo plantas daninhas foi realizado antes de instalar a cultura na área no dia 05/05/2022, foi utilizado os herbicidas Glifosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D 2 L ha⁻¹, juntamente com roçada dos restos culturais (algodão), seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2022 de Glyfosato na dose de 2 L ha⁻¹. O manejo nutricional de 600 Kg ha⁻¹ de formulado 13-14-8, junto ao plantio 20/05/2022 mais a aplicação a lanço de 300 Kg ha⁻¹ de Sulfato

de amônia, no dia 09/07/2022. A colheita foi realizada no dia 16/10/2022.

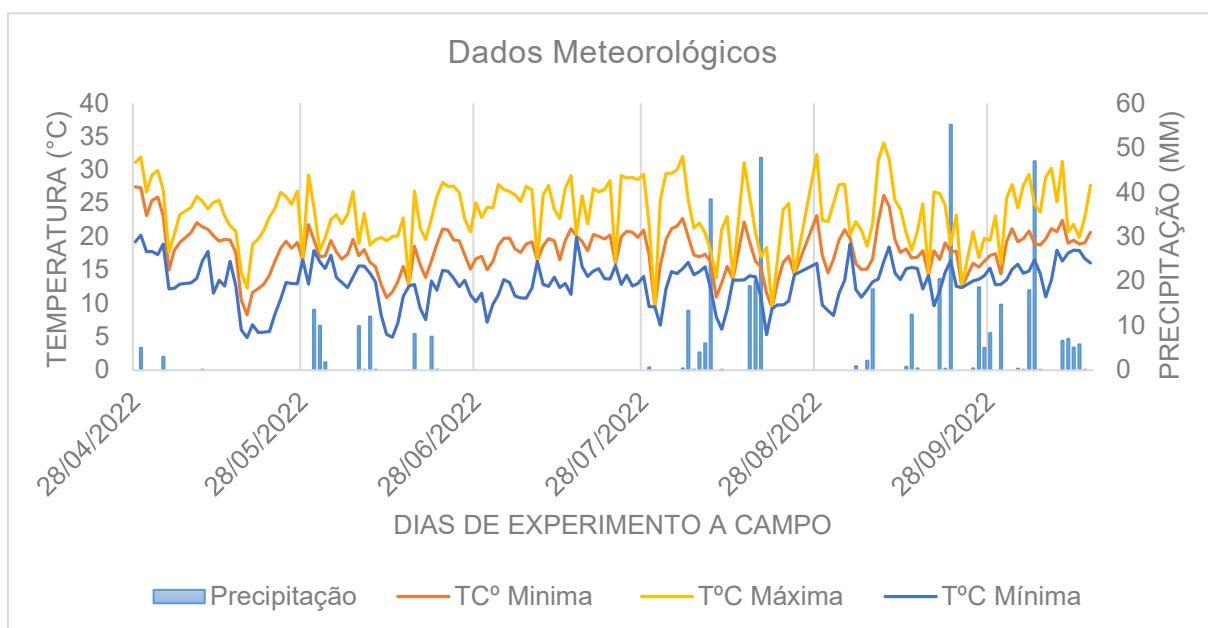
No segundo ano (2023 na área de Londrina-Pr, foi instalado no dia 20/04/2023. O manejo plantas daninhas foi realizado antes de instalar a cultura na área no dia 04/04/2023, foi utilizado os herbicidas Glyphosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D na dose de 0,5 L ha⁻¹, seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2023, 2.4-D na dose de 1 L ha⁻¹. O manejo nutricional de 250 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, junto ao plantio dia 20/04/2023 a aplicação. O manejo fitossanitário foi feito com a aplicação do fungicida: Aproche Power (Picoxistrobina/ Estrobilurina e Ciproconazol/ Triazol), na dose 600 mL ha⁻¹, no dia 04/08/2023. A colheita foi realizada dia 29/08/2023.

Na área de Faxinal-Pr, no ano agrícola de 2023, a instalação foi feita dia 25/05/2023. O manejo plantas daninhas foi realizado antes de instalar a cultura na área no dia 05/05/2023, foi utilizado os herbicidas Glyphosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D 2 L ha⁻¹. O manejo nutricional de 600 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, juntamente com o plantio no dia 25/05/2022, mais a aplicação a lanço de 300 Kg ha⁻¹ de Sulfato de amônia, no dia 09/07/2022.

O manejo fitossanitário foi feito com a aplicação do fungicida: Aproche Power (Picoxistrobina/ Estrobilurina e Ciproconazol/ Triazol), na dose 600 mL ha⁻¹, no dia 22/08/2023. A colheita foi realizada dia 20/10/2023.

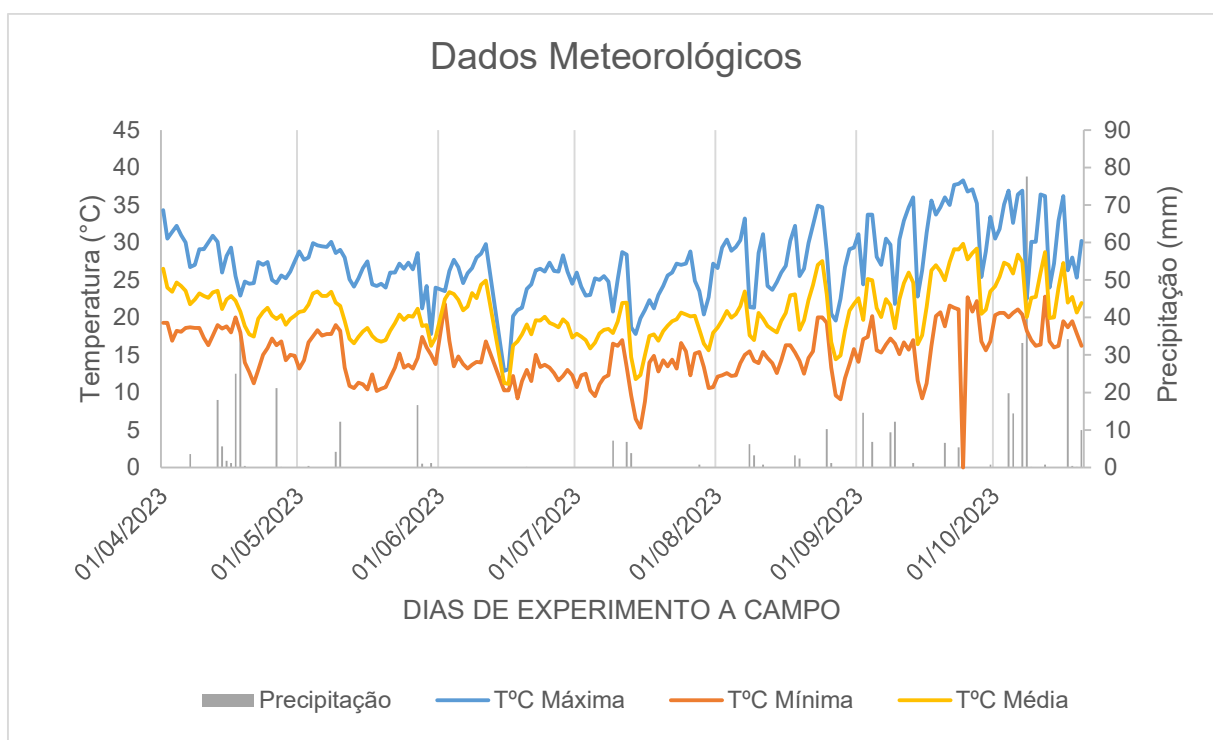
Os dados de precipitação, temperaturas máxima, mínima e média durante a condução dos experimentos foram obtidas através dos registros da estação meteorológica do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) para os respectivos municípios de Londrina e Sertaneja-PR (Gráfico 1). Foram utilizados os dados apenas do município de Londrina para o município de Sertaneja, devido ao posto meteorológico mais próximo ser o do município de Londrina.

Gráfico 1: Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2022, diário. Londrina-PR. 2023



Fonte: adaptada de IDR-PR, 2024

Gráfico 2: Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Faxinal, no período experimental da segunda safra do ano 2023, diário. Londrina-PR. 2024



Fonte: adaptada de IDR-PR, 2024

Após o término do ciclo da cultura do trigo foram colhidas as áreas úteis das parcelas. Em quatro metros lineares colhidos por parcela foi contabilizado

o número de espiga por metro linear (NE) e em dez espigas de cada parcela, separadas aleatoriamente, avaliou-se: número de grãos por espiga (NGE) e número de espiguetas por espiga (NEE), aferido por meio de simples contagem.

Posteriormente à debulha das espigas da área útil, em trilhadora estacionária, foram aferidas a massa de mil grãos (MMG) e a produtividade de grãos (PROD). A massa de mil grãos foi determinada conforme metodologia proposta por Brasil (2009) realizando-se a pesagem em balança de precisão, de duas repetições de 100 grãos por unidade experimental, para se obter a média da variável. A produtividade foi obtida através da pesagem dos grãos produzidos na área útil da parcela, com resultados expressos em kg ha^{-1} . Ambas as avaliações foram expressas com massas corrigidas para 13% de umidade.

A massa específica aparente foi determinada por meio de uma balança comercial de peso hectolítro da marca Dalle Molle®, que se baseia na determinação da massa de grãos contida num recipiente de volume de $\frac{1}{4}$ L (MOD Tipo 40, Dalle Molle®, Caxias do Sul, Brasil). O resultado é transformado na unidade padrão (kg hL^{-1}), segundo método descrito por Brasil (2009) e pelo fabricante do equipamento.

Para a determinação do teor de nitrogênio dos grãos utilizou-se o método proposto por Kjeldahl (1883), seguindo as etapas de digestão, destilação e titulação. Para encontrar o valor da proteína o valor de nitrogênio obtido foi multiplicado por 5,7, conforme recomenda o Instituto Adolfo Lutz (2008). Toda a análise foi realizada no Laboratório de Sementes e de Solos da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Após a colheita os grãos foram moídos e armazenados em câmara fria para realização das análises de proteína bruta e macronutrientes minerais (N, P e K, Ca, Mg, S) e micronutrientes minerais (Cu, Fe, Mg e Zn). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina.

Assim foram quantificados para cada uma das parcelas experimentais. Para tanto, uma amostra de grãos (30 g) por parcela foi higienizada em solução aquosa de hipoclorito de sódio (10% por 5 min.) para evitar a contaminação por micróbios e partículas de solo. Os grãos foram secos em estufa (60°C por 72 h) e processados em micro-moinho. Para todos os nutrientes, com exceção de N, foi empregada a metodologia descrita por Miyazawa et al. (2009), que consiste na digestão nitroperclórica com solução de HNO_3 ; HClO_4 (3:1) de 0,4 g da

farinha de cada amostra, em um tubo digestor de 80 ml.

Para a determinação dos teores dos nutrientes, o produto da reação foi analisado por Espectroscopia de Absorção Atômica.

Para a interpretação dos dados da análise química dos grãos de trigo, foi utilizado os teores de referência de nutrientes dos resultados da análise de tecidos (Tabela 3).

Tabela 3: Teores de referências dos resultados da análise de tecido vegetal da cultura do trigo, adaptado de Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (adaptado de Pauletti, 2017).

N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			%	
20-24	2,1-3,3	15-30	1,5-4	2,5-10	1,5-3	5-25	10-300	25-150	20-70	12

Fonte: adaptada de Pauletti, 2006.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wylk) e homoscedasticidade (Hartley). Com os pressupostos iniciais atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância com teste F e regressão a 5% de significância com auxílio do Software R, com pacote AgroR.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Para a variável número de grãos por espiga (NGE) foi apresentado significância dos dados a 5%, para o efeito isolado do fator doses de S^o (S) (Tabela 4).

Tabela 4: Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PMG	PH	NE	NGE	NEE	NEA	PROD
Aminoácido (A)	1	0,1966	0,7238	0,0722	0,2439	0,0755	0,3982	0,9698
Doses S (S)	4	0,1764	0,9887	0,2096	0,0222	0,2096	0,4111	0,5596
A x S	4	0,0577	0,6791	0,7842	0,7176	0,7842	0,7738	0,2952
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		5,3	3,95	17,24	10,83	10,64	29,19	15,15
Média Geral		30,728	71,7	73,7	26,607	8,11	2,09	1.371,4

Fonte: próprio autor, 2024.

A falta de significância obtida pelas variáveis: peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD), pode ser explicado devido a boa disponibilidade de S no solo da área onde foi conduzido o ensaio, tendo em vista que o teor do nutriente no solo estava-se na faixa de 13 mg dm⁻³ (Tabela 1), sendo classificado como nível alto, por estar com mais de 10 mg dm⁻³ no solo (RAIJ, 1997; GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2012; PAULETTI, 2017).

Considerando a cultura do trigo, extrai cerca de 3,5 Kg de S para cada tonelada produzida e exporta 1,2 Kg de S para cada tonelada produzida (PAULETTI, 2017). Assim, considerando a produtividade obtida no ensaio: 1.372,4 kg ha⁻¹, (Tabela 4), a cultura do trigo extraiu cerca de 4,80 kg de S e exportou 1,65 kg de S do solo. Conforme observa-se na Tabela 1, o solo possui 13 mg dm⁻³, quando transformado para kg ha⁻¹, chega-se ao valor de 26 kg de S por hectare, suprindo assim a necessidade de extração e exportação da cultura do trigo alcançar a produtividade obtida.

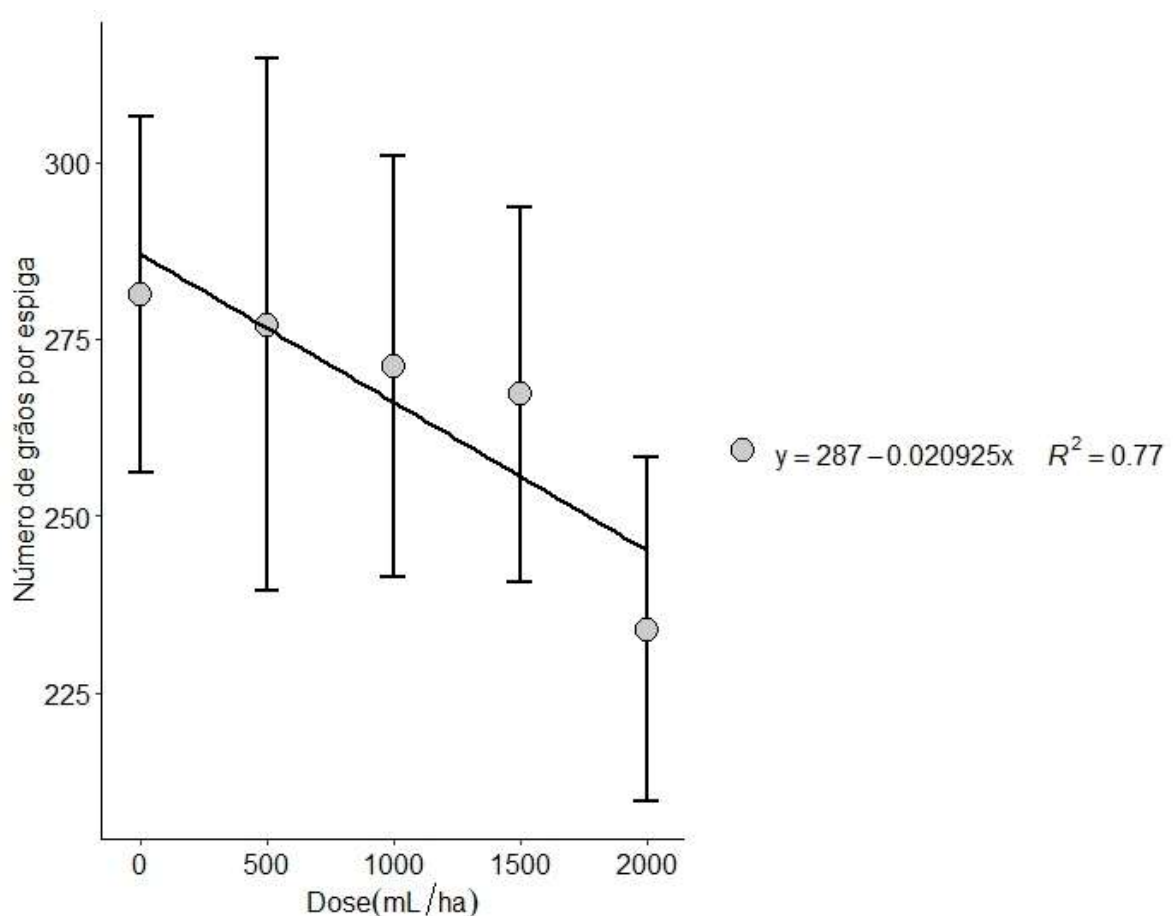
Ainda, a análise química desse solo mostra que esta área encontra-se com uma boa construção de fertilidade química de solo (LEPSCH, 2016), por

verificar que a maioria dos nutrientes encontra-se entre os índices ideais de recomendação (PAULETTI, 2004), verificados na Tabela 1.

As condições climáticas, com boas condições hídricas e térmicas, para ajudaram a cultura a desenvolver-se bem (Gráfico 1), com medias térmicas de 20°C e uma precipitação acumulada de 330 mm durante o ciclo do trigo (Gráfico 1) condições que satisfazem o que é preconizado por RODRIGUES et. al. (2011), 200 mm de chuva com uma temperatura média de 15 a 20 °C durante o ciclo da cultura do trigo.

Para a variável número de grãos por espiga (NGE) foi verificado um resultado significativo para o fator doses de S⁰ aplicado via foliar, assim na análise de regressão, foi verificado um comportamento linear decrescente. assim podemos observar que o aumento da dose de S⁰ aplicado afetava negativamente esse componente de produtividade, resultando em um menor número de grãos por espiga (Gráfico 3).

Gráfico 3: Efeito isolado do fator doses de enxofre sobre a variável número de grãos por espiga. Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.



Fonte: próprio autor, 2024.

Mesmo com a redução do número de grãos por espiga, esse efeito pode ter sido diluído dentro dos efeitos dos outros componentes de produtividade, não trazendo prejuízos na produtividade dos tratamentos (PROD) (Tabela 4).

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificada significância dos dados a 5%, para as variáveis números de espigas por metro linear (NE), peso do hectolitro (PH) número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil sementes (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD) (Tabela 5).

Tabela 5: Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PMG	PH	NE	NGE	NEE	NEA	PROD
Aminoácido (A)	1	0,4736	0,4736	0,9817	0,2734	0,1141	0,2273	0,4450
Doses S (D)	4	0,4051	0,4051	0,4955	0,2405	0,3724	0,3386	0,2737
A x D	4	0,3377	0,3377	0,6028	0,5283	0,5930	0,7496	0,2945
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		30,64	30,64	1,76	15,33	3,73	118,33	29,41
Média Geral		29,40	80,3	82,02	326,6	13,85	3,14	2.389,37

Fonte: próprio autor, 2024.

Esses resultados corroboram os dados obtidos na mesma safra (2022) no município de Londrina-PR (Tabela 4), ou seja, os tratamentos não se diferenciaram, constatando que os fatores testados doses de S^o (S) e associação com aminoácidos (A) não alteraram as variáveis avaliadas.

Como no ocorrido em Londrina-PR (Tabela 4), a falta de significância dos tratamentos, pode também estar correlacionada com o alto teor de S no solo, 31,13 mg dm⁻³ (Tabela 1), sendo classificado como nível alto, quase indo

para condições de excesso (RAIJ, 1997 e GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2012). Assim, podemos constatar que o solo já supriu a necessidade da cultura do trigo (PAULETTI, 2004).

Outro fator muito importante a ser destacado nesse solo é o teor de matéria orgânica no solo (MOS), que encontrava-se em $22,94 \text{ g kg}^{-1}$, classificado como médio (PAULETTI, 2004). Para a dinâmica do S nos solos, a matéria orgânica tem papel muito importante. Devido à alta mobilidade do íon sulfato no perfil de solo, torna esse nutriente muito propenso a ser perdido por lixiviação, dessa forma o S presente na matéria orgânica é de extrema importância para nutrição das plantas, por ser uma forma de liberação mais lenta (dependente de microrganismos do solo e clima) (OSÓRIO FILHO, et. al. 2006).

Devido ao clima temperado dessa região do território brasileiro (quente e úmido) (Gráfico 1), a decomposição da matéria orgânica ocorre com muita velocidade, além disso, com uma biomassa com baixa relação C/N e lignina/N (resteva de algodão deixado na área do ensaio) (TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2007), o que confere menor persistência da palhada, característica desejável nas condições em que há rápida decomposição da cobertura de solo, permitindo melhor ciclagem dos nutrientes (MOHLER, et. al. 2009).

Podemos constatar também na análise de solo que esta área encontra-se com uma boa construção de fertilidade química de solo (LEPSCH, 2016), por verificar que a maioria dos nutrientes encontra-se entre os índices ideais de recomendação (PAULETTI, 2004), verificados na Tabela 1 (Sertaneja-PR 2022).

As condições climáticas, com boas condições hídricas e térmicas, ajudaram a cultura a desenvolver-se bem, com medias térmicas de $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma precipitação acumulada de 260 mm durante o ciclo do trigo (Gráfico 1) condições que satisfazem o que é preconizado por RODRIGUES et. al. (2011) de 200 mm de chuva com uma temperatura média de $15 \text{ a } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o ciclo da cultura do trigo.

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis Peso do hectolitro (PH), a variável número de espiguetas (NEE), números de espigas por metro linear (NE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha^{-1}) (PROD) (Tabela 6).

Tabela 6: Resumo da análise de variância para as características de peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PMG	PH	NE	NGE	NEE	NEA	PROD
Aminoácido (A)	1	0,7164	0,8917	0,2128	0,3936	0,2128	0,6498	0,2312
Doses S (S)	4	0,8933	0,9637	0,9481	0,7809	0,9481	0,1791	0,3192
A x S	4	0,7673	0,5888	0,6782	0,1699	0,6782	0,1819	0,8955
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		5,14	4,27	10,82	22,27	10,82	43,53	23,61
Média Geral		36,56	75,9	11,227	239,52	11,22	9,17	845,00

Fonte: próprio autor, 2024.

Esses resultados corroboram os dados obtidos na safra anterior (2022) nos municípios de Londrina-PR e Sertaneja-PR (Tabela 4 e 5), ou seja, os tratamentos não diferenciaram-se estatisticamente, dessa forma podemos afirmar que os fatores testados doses de S^o (S) e associação com aminoácidos (A)) não influenciaram as variáveis testadas.

Como no ocorrido em Londrina-PR e Sertaneja-PR em 2022 (Tabela 4 e 5), o S encontrava-se em uma boa disponibilidade no solo, na área onde foi conduzido o ensaio, tendo em vista que os teores estavam por volta de 13 mg dm⁻³ (Tabela 1), sendo classificado como nível muito alto, (RAIJ, 1997 e GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2012).

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis, peso do hectolitro (PH) número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil sementes (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Para a variável número de espiguetas (NE), foi apresentado significância dos dados a 5%, para o efeito isolado do fator aminoácido (A) e para o

efeito isolado do fator dose de S^o (S). (Tabela 7).

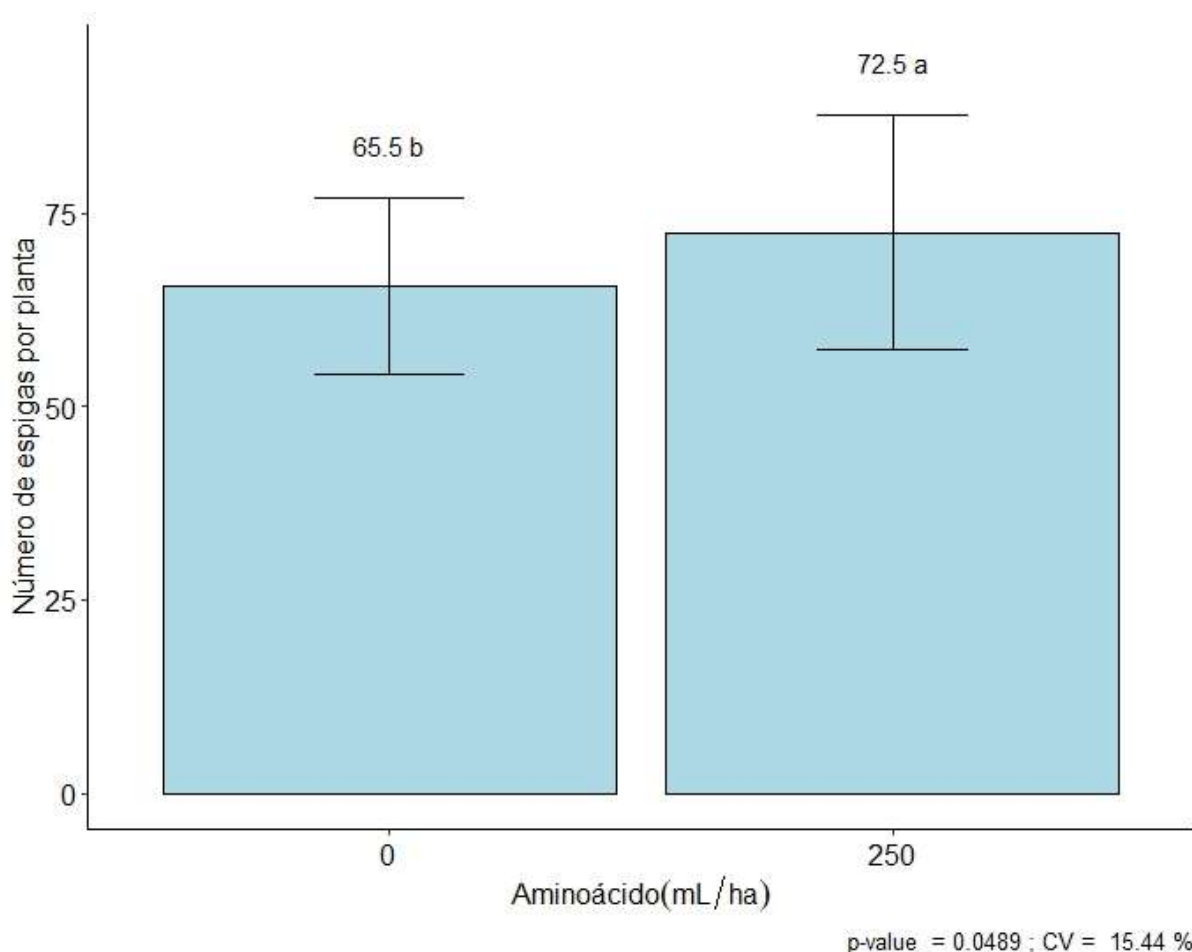
Tabela 7: Resumo da análise de variância para as características de teor de proteína nos grãos (TP), peso do hectolitro (PH), números de espigas por metro linear (NE), número de grãos por espiga (NGE), número de espiguetas (NEE), peso de mil grãos (PMG), número de espiguetas abortadas (NEA) e produtividade da parcela (kg ha⁻¹) (PROD). Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PMG	PH	NE	NGE	NEE	NEA	PROD
Aminoácido (A)	1	0,7779	0,2273	0,0488*	0,3643	0,8083	0,6477	0,2117
Doses S (S)	4	0,2887	0,5196	0,0381	0,4763	0,5163	0,2882	0,7102
A x S	4	0,6060	0,2304	0,1205	0,4007	0,1033	0,1112	0,5708
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		6,24	15,75	15,44	20,08	10,31	43,39	14,35
Média Geral		24,90	65	69,02	262,07	14,40	9,17	1.281,30

Fonte: próprio autor, 2024.

Para a variável número de espigas (NE) foi verificado um resultado significativo para o efeito isolado do fator aminoácido (A) e para o efeito isolado do fator doses de S^o (Gráfico 4).

Gráfico 4: Efeito isolado do fator aminoácido sobre a variável número de espiga por planta. Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.



Fonte: próprio autor, 2024.

Todavia, esse foi um efeito isolado no experimento no município de Faxinal, não se repetindo nas demais localidades. Ainda, esse resultado não foi determinante para alterar a produtividade de grãos (PROD) e não teve relação com o abortamento de espiguetas (EPA) e, que não apresentaram diferença para a aplicação de aminoácidos. Assim, percebe-se que à aplicação de aminoácidos pode ajudar a planta a se recuperar de situações de estresse (FLOSS, et. al. 2007), mas nesse estudo, não trouxe retorno em produtividade (Tabela 7).

Com o efeito isolado do fator doses de S^o sobre a variável número de espiga, foi feita a análise de regressão, porém não houve modelo estatístico que se ajustou aos dados apresentados (Tabela 8), dessa forma não podemos diferenciar estatística as doses de S^o utilizadas.

Tabela 8: Efeito isolado do fator dose de enxofre elementar sobre a variável número de espiga. Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.

Número de espigas por planta						
Doses de Enxofre (ml ha ⁻¹)					Equação	R ²
0	500	1.000	1.500	2.000		
62,25	71,5	76,875	72,125	62,375	Y=68,85+0,00017x	0

Fonte: próprio autor, 2024.

Assim como observado nesse estudo, outros trabalhos também não encontraram efeito da aplicação de S na produtividade de diferentes culturas. Tiecher et. al. (2013), estudou as doses de S na forma de Gesso aplicadas nas doses de 0, 5, 10 e 20 kg ha⁻¹, e avaliou a produção de matéria seca e o acúmulo de S na parte aérea do milho e do feijão-de-porco, e a produção e o teor de S nos grãos de mamona e de trigo, concluindo que mesmo com teores de S abaixo dos níveis de suficiência, não houve respostas do trigo, do milho e do primeiro cultivo de feijão-de-porco à adubação sulfatada. Nesse estudo, os autores relatam que o aporte de S atmosférico ao solo foi de 4,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e pode ter contribuído para a ausência de resposta desses cultivos. O que corrobora também os resultados de Broch et. al. (2011), que avaliou a influência de diferentes fontes de S sobre a produtividade de grãos na cultura da soja, e concluíram que a aplicação delas tem resposta, mas é limitada a solos pobres neste nutriente.

Podemos suprimir a necessidade da cultura com S, em condições de boa disponibilidade de matéria orgânica, boa disponibilidade no solo, fertilizantes a base de S (VITTI, et. al. 2007) e fornecimento atmosférico (TIECHER, et. al. 2013).

Assim, como nos princípios propostos pela Lei de Liebig ou Lei do mínimo, que serve como base na agricultura para a obtenção de elevadas produtividades e afirma que o desenvolvimento fisiológico e morfológico de uma planta será limitado pelo nutriente que não está disponível ou em déficit, (KREUZ, et. al. 2020). Se o S não se encontra em deficiência, seu acréscimo não será o que vai resultar no aumento de rendimento da cultura.

Outra hipótese, da ausência de eficiência da utilização de S⁰ é a falta de absorção dele. Devido a necessita ser oxidado pelos microrganismos dos solos (bactérias do gênero *Thiobacillus*) e transformá-lo em íons sulfato, que dessa forma ele pode ser absorvido pelas plantas) (HOROWITZ, 2003)

Todavia, alguns trabalhos mostram efeitos positivos na aplicação de S foliar. Vitti et. al. (2007) avaliou a assimilação de S pela soja e comparou as

formas de fornecimento, observando que 6 kg ha^{-1} via foliar foi equivalente a aplicação 20 kg ha^{-1} de S no solo. além de uma maior eficiência pela cultura. Legris delaporte et. al. (1987), que trabalhou com uma análise química em folhas de trigo, após aplicação de $^{35}\text{S}^0$, assim foi constatada sua absorção e assimilação, que resultou em incorporação em compostos orgânicos como os aminoácidos e proteínas.

Por sua vez, o estudo sobre a absorção e metabolização do S^0 em cloroplastos de trigo e espinafre, realizado por Jolivet et. al. (1995), evidenciou a síntese de compostos que contêm S (tiosulfato, cisteína e glutatona). Boaretto et. al. (1986) estudou sobre o tempo de absorção e de translocação de fósforo e enxofre (Sulfato de potássio) fornecidos via foliar para o feijoeiro, com o S marcado ($^{35}\text{S}^0$) e foi observado que 50% foram absorvidos após 16 horas, e a translocação iniciou-se a partir de oito horas.

Quanto à ausência de incrementos com a aplicação de aminoácidos, alguns trabalhos na literatura já relataram o mesmo resultado. Gazola; Zucareli; Silva, 2017, foi estudado os efeitos da aplicação foliar na fase de emborrachamento de aminoácidos (nas doses: 0, 10, 20, 30 L ha^{-1}), e avaliaram as características agrônômicas e no desempenho produtivo de cultivares de trigo, e concluíram que não houve incremento no rendimento da cultura. Ademais, Ciotto, Santos; Cavalcanti et. al. (2008) observaram que a aplicação via foliar de aminoácidos nas plantas de trigo tiveram menor número de grãos por espiguetas e menor número de espiguetas por espiga, trazendo prejuízos na produção final.

Os aminoácidos são essenciais e sintetizados pelo próprio metabolismo das plantas, aqueles que se encontram em maiores quantidades, estão ligados a assimilação do carbono e nitrogênio, sendo constituinte das proteínas (FAGAN et al., 2020) e sua deficiência pode causar a morte da planta. Como no caso da aplicação de Glifosato, um herbicida que inibe a enzima EPSPS (5-enolpiruvato-chiquimato-3-fosfato sintase) da via metabólica do ácido chiquímico, impedindo a síntese de determinados aminoácidos essenciais (tirosina, triptofano e fenilalanina) ao crescimento das plantas (MALIK, et. al. 1989; FRANZ, et. al. 1997).

Porém em condições normais a planta possui a capacidade de sintetizar aminoácidos que serão utilizados para o metabolismo da planta e seu desenvolvimento (TAIZ; ZAIGER, 2017). Assim existem situações que podem ser feitas aplicações foliares de aminoácidos, com o objetivo promover uma resposta

fisiológica na planta e a iniciar a síntese proteica, ativando o metabolismo fisiológico da planta.

A presença de estresses e deficiências nutricionais tem sido relatada como situações em que ocorre melhor absorção de nutrientes via foliar e no fornecimento de fontes proteicas a plantas. (CASTRO, et. al. 2008 e RUSSO; BERLYN, 1990). Serciloto; Castro (2005) verificaram um incremento significativo na massa seca de plantas de feijoeiro, aumento do número de grãos e da massa de grãos colhidos, bem como um efeito protetor contra o efeito do herbicida glifosato. Castro et. al. (2011), por sua vez, aplicou uma fonte a aminoácido em feijão, e constatou que as plantas que tinham sofrido um estresse de alta temperatura durante 4 dias seguidos em casa-de-vegetação, tiveram um aumento na altura 10 dias após a aplicação do produto na dosagem de 2,5 L ha⁻¹. Além de obterem aumento no número de vagens, número de grãos e massa dos grãos através das dosagens de 1,5, 2,0 e 2,5 L ha⁻¹.

Em condições de ausência de estresse, como ocorrido durante o experimento (Gráfico 1 e 2), o aminoácido não apresentou resposta de incrementos na produção de grãos de trigo. Todavia, esses resultados podem ser diferentes em condições de elevada temperatura, déficit hídrico ou falta de nutrientes, o que torna necessário mais estudos (RUSSO; BERLYN, 1990).

Outro ponto importante a ser considerado com relação a aplicação foliar de aminoácidos é a capacidade de assimilação pelas plantas via folha. Os aminoácidos podem ser transportados através da membrana plasmática da célula, pela rota simporte através de transportadores de membranas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Todavia, estudos com aminoácidos marcados demonstraram que as plantas de *Tillandsia paucifolia* e soja conseguem absorver apenas aminoácidos livres (NYMAN, et. al. 1987; BENZING, et. al. 1976 e NELSON; GORHAM, 1959). Assim, produtos agrícolas para aplicação visando absorção de aminoácidos, precisam que esses se encontrem na forma livre. Todavia, grande parte dos aminoácidos presentes no produto utilizados não são da forma livre, (Tabela 1) o que também pode estar relacionado com a ausência de efeitos neste estudo.

Não houve também, nas quatro localidades estudadas efeito para a interação dos fatores aminoácidos e doses de S⁰ utilizada (A*S). São escassos os trabalhos na literatura com essa associação. Todavia, trabalhos com outros nutrientes como o de Lima et. al. (2009), que avaliou a eficiência da aplicação foliar

de uréia, isolada e associada a diferentes aminoácidos (asparagina, alantoína ou glutamina), mostrou que a atividade da redutase do nitrato é influenciada por diferentes fontes de nitrogênio na forma de aminoácidos.

Ainda, Ashmead et. al. (1986), afirma que a alta permeabilidade da cutícula da planta às proteínas hidrolisadas quando aplicadas via pulverização foliar, melhoram a absorção de outras fontes nutrientes. Isso porque, quando aplicados em conjunto ocorre o processo de quelatização do mineral, aumentando a penetração na membrana cuticular e a velocidade maior do que o previsto por difusão simples.

Porém no trabalho de Dapper (2016), foi feita a aplicação de um produto a base de cobalto, molibdênio, zinco, enxofre e aminoácidos e avaliou a produtividade da soja. O autor concluiu que a utilização de aminoácidos não foi capaz de interferir no desenvolvimento da cultura nas condições em que o experimento foi realizado. Já Lima et. al. (2009) mostra que a aplicação de ureia em conjunto com aminoácidos resultou em um aumento no teor de proteínas em plantas jovens de milho (*Zea mays*). Mesmo que esse aumento de proteínas não retorne em um aumento na produtividade na cultura do milho (GAZOLA, 2014).

A composição química dos grãos encontrada nos experimentos nos municípios de Londrina-Pr e Sertaneja-Pr da safra de 2022 e de Londrina-PR e Faxinal-PR da safra de 2023 são apresentados na Tabela 9.

A interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificada significância dos dados a 5%, para as variáveis de características químicas dos grãos: Nitrogênio (N g kg⁻¹), Fósforo (P g kg⁻¹), Potássio (K g kg⁻¹), Magnésio (Mg g kg⁻¹), Cálcio (Ca g kg⁻¹), Enxofre (S g kg⁻¹), Cobre (Cu mg kg⁻¹), Ferro (Fe mg kg⁻¹), Manganês (Mn mg kg⁻¹), Zinco (Zn mg kg⁻¹), Teor de Proteína Bruta do Grãos (TP%).

Apensa foi observado efeito do fator aminoácido (A) para a variável de característica química dos grãos: Cálcio (Ca g kg⁻¹) do ensaio do município de Londrina-PR na safra de 2022 e para o efeito isolado do fator dose de S^o para a variável de característica química dos grãos: Cálcio (Ca g kg⁻¹) do ensaio do município Sertaneja-PR na safra de 2022. (Tabela 9).

Tabela 9: Resumo da análise de variância para as características químicas dos grãos: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Teor de Proteína Bruta do Grãos (TP). Análise feita dos experimentos de Londrina-Pr e Sertaneja-Pr da safra de 2022 e de Londrina-PR e Faxinal-PR da safra de 2023.

LONDRINA-PR 2022												
Causas de variação	G.L.	P-VALOR										
		N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
Aminoácido (A)	1	0,1783	0,1868	0,4984	0,1325	0,0353*	0,7095	6,5483	0,0549	0,2896	0,5663	0,1783
Doses S (D)	4	0,6369	0,1591	0,7689	0,4569	0,2298	0,5071	4,3381	0,5961	0,5084	0,6986	0,639
A x D	4	0,8295	0,7493	0,3602	0,7733	0,1923	0,5357	9,3568	0,2276	0,8982	0,0816	0,8295
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		84,33	16,86	23,96	7,83	30,93	22,64	23,68	93,88	8,52	5,56	28,04
Média Geral		3,057	2,96	35,4	1,21	1,133	2,21	0,378	89,77	80,7	40,62	3,98

SERTANEJA-PR 2022												
Causas de variação	G.L.	P-VALOR										
		N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
Aminoácido (A)	1	0,8113	0,7182	0,274	0,3803	0,8821	0,7095	0,1106	0,1181	0,7557	0,3854	0,8113
Doses S (D)	4	0,9895	0,1853	0,6818	0,2098	0,0371*	0,5071	0,1238	0,6833	0,4013	0,3991	0,9895
A x D	4	0,5357	0,2019	0,634	0,5415	0,2017	0,5357	0,9241	0,4551	0,5796	0,4223	0,5357
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		50,99	13,18	38,4	10,95	15,69	22,64	44,48	78,24	16,63	41,26	28,02

Média Geral												
		7,49	3,32	21,94	1,397	1,168	2,22	0,42	91,06	72,94	41,96	5,91
LONDRINA-PR 2023												
Causas de variação	G.L.	P-VALOR										
		N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
Aminoácido (A)	1	0,1071	0,0618	0,2383	0,1523	0,5021	0,642	0,2096	0,1419	0,208	0,5362	0,1072
Doses S (D)	4	0,1444	0,8056	0,5721	0,9921	0,9631	0,7173	0,6705	0,53821	0,93	0,6979	0,1444
A x D	4	0,5853	0,357	0,6792	0,7266	0,6407	0,3417	0,4222	0,4121	0,5836	0,7905	0,5852
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		67,75	24,28	26,94	13,81	19,54	24,03	37,11	83,75	26,94	39,59	52,66
Média Geral		21,4	3,642	30,82	1,352	1,253	2	0,45	161,19	58,24	39,19	11,93

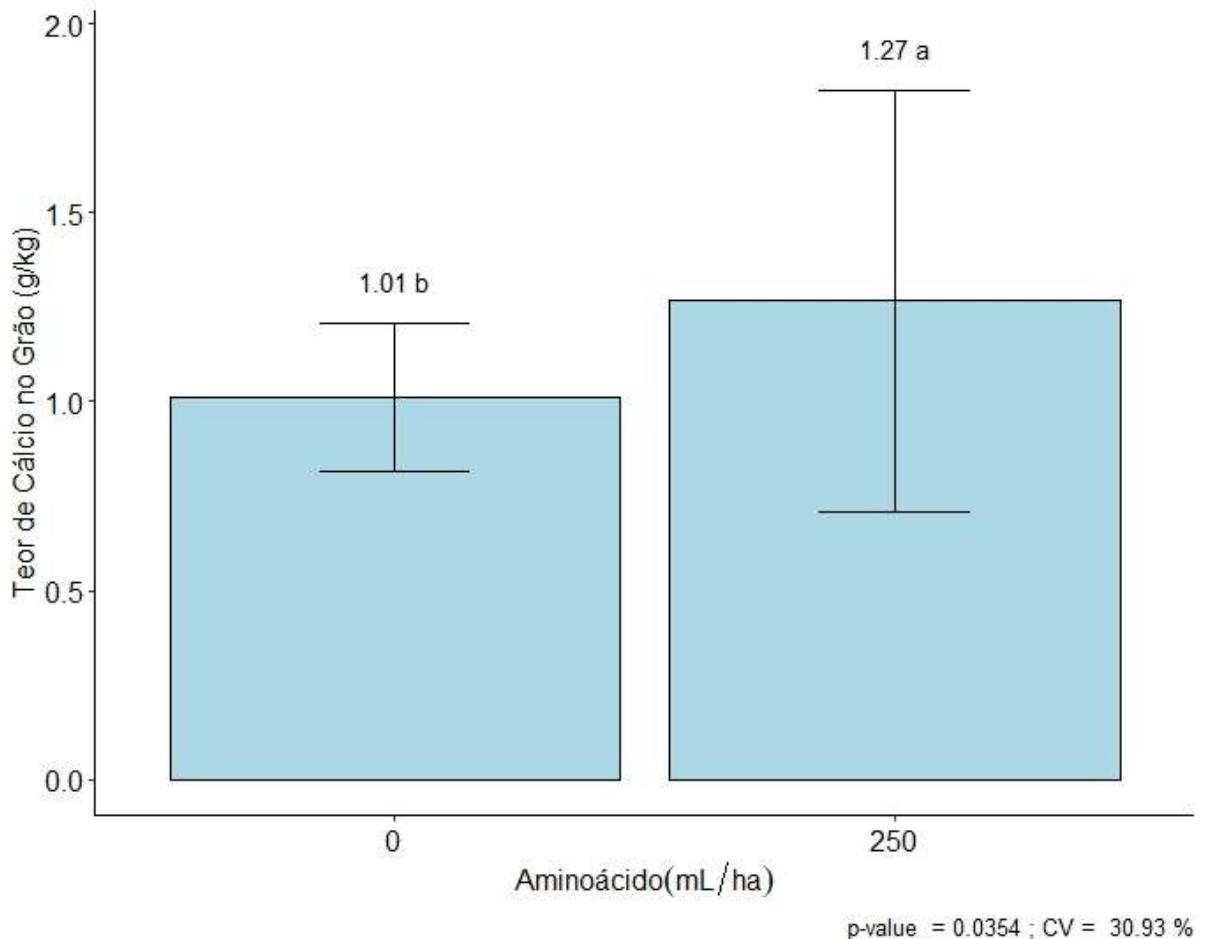
FAXINAL-PR 2023												
Causas de variação	G.L.	P-VALOR										
		N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
Aminoácido (A)	1	0,4787	0,8462	0,4798	0,4147	0,4407	0,1348	0,4472	0,2505	0,4907	0,5755	0,4787
Doses S (D)	4	0,9997	0,4689	0,5633	0,3971	0,5369	0,9101	0,404	0,6819	0,168	0,176	0,9996
A x D	4	0,9759	0,4907	0,1138	0,8984	0,235	0,2554	0,3506	0,514	0,6703	0,6088	0,9759
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		47,29	23,75	44,73	7,28	22,61	11,22	41,16	44,39	63,59	61,36	31,78
Média Geral		12,57	3,96	26,18	1,399	1,458	2,09	0,43	51,52	23,43	30,10	8,11

Fonte: próprio autor, 2024.

A aplicação de S^o e associação com aminoácidos (A) via foliar não alteraram os teores de nutrientes nos grãos de trigo nas diferentes localidades testadas.

Exceto para o Cálcio (Ca g kg⁻¹) nos grãos de trigo do ensaio do município de Londrina-PR na safra de 2022, que foi verificado aumento significativo do teor de Ca com a aplicação de aminoácido (A) (Gráfico 7), observando um ganho de 0,26 g kg⁻¹ de Ca.

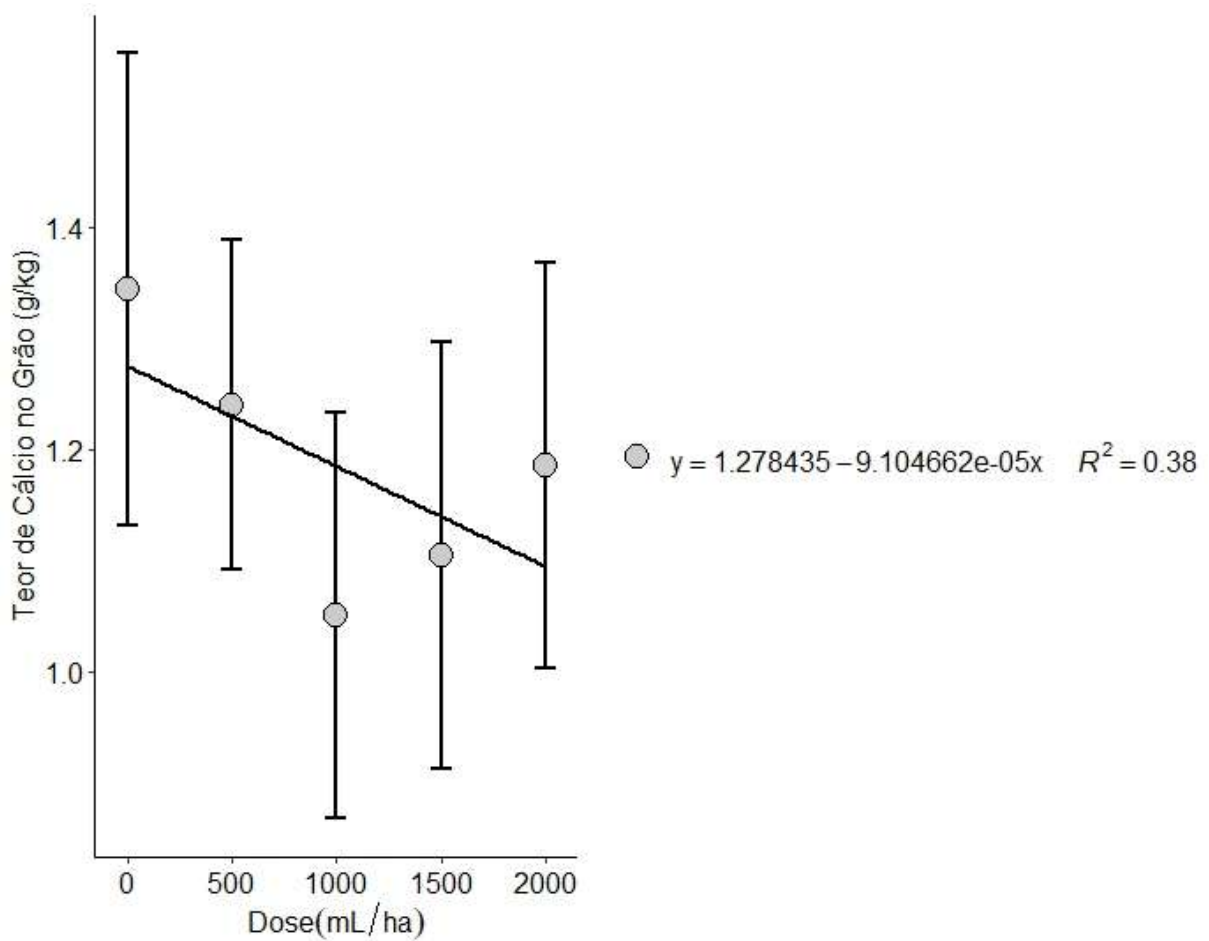
Gráfico 7: Efeito isolado do fator aminoácido sobre a variável teor de Cálcio nos grãos (g. kg⁻¹). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.



Fonte: próprio autor, 2024.

Ainda, o teor de Ca nos grãos de trigo também foi influenciado pelas doses de enxofre aplicadas via foliar. Todavia, foi possível observar na regressão apresentada uma linear decrescente, verificando redução nos teores de Ca com o aumento da dose de (Gráfico 8).

Gráfico 8: Efeito isolado do fator dose de enxofre sobre a variável teor de Cálcio nos grãos (g. kg⁻¹). Dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022.



Fonte: próprio autor, 2024.

A interpretação dos teores dos nutrientes obtidos da caracterização química dos grãos (Tabela 10), foi realizada adaptando os valores de referência no Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2004).

Tabela 10: Interpretação da análise química de nutrientes dos grãos utilizando os índices preconizados pelo manual de adubação de calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2004).

N	P	K	Mg	Ca	S	Cu	Fe	Mn	Zn	TP
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				%
Londrina-PR, Safra 2022										
3,057	2,96	35,4	1,21	1,133	2,21	0,378	89,77	80,7	40,62	3,98
baixo	ideal	Alto	baixo	baixo	ideal	baixo	ideal	ideal	ideal	baixo
Sertaneja-PR, Safra 2022										
7,49	3,32	21,94	1,397	1,168	2,22	0,42	91,06	72,94	41,96	5,91

baixo	ideal	Ideal	baixo	baixo	ideal	baixo	ideal	ideal	ideal	baixo
Londrina-PR, Safra 2023										
21,4	3,642	30,82	1,352	1,253	2	0,45	161,19	58,24	39,19	11,93
ideal	alto	Ideal	baixo	baixo	ideal	baixo	ideal	ideal	ideal	baixo
Faxinal-PR, Safra 2023										
12,57	3,96	26,18	1,399	1,458	2,09	0,43	51,52	23,43	30,1	8,11
baixo	alto	Ideal	baixo	baixo	ideal	baixo	ideal	baixo	ideal	baixo

Fonte: adaptado de Pauletti, 2006.

Os teores de Ca e o Cu apresenta-se concentrações consideradas baixas (abaixo do índice de referência) em todos os ambientes testado. O Cobre apresenta-se abaixo devido à dificuldade operacionais, em condições de laboratório o aparelho utilizado (espectrofotômetro) não tem a capacidade de identificar esse nutriente (Tabela 10).

No gráfico 7 podemos notar um maior acúmulo de Cálcio nos grãos em que foram aplicados os aminoácidos, pode ter atuado como um quelante, arregando o íon Ca^{+2} pelo citosol na planta, devido a sua baixa mobilidade na planta (MARSHENER, 1995; POTAFÓS, 1996). Entre as várias hipóteses sobre a atribuídas a aplicação de aminoácidos, pensando na sua importância na parte da fisiologia da planta, sendo as principais funções a compostos intermediários dos hormônios vegetais endógenos, efeito quelatizante em nutrientes, (CASTRO, et. al. 2008), assim pode ter atuado no trabalho melhorando a translocação de Cálcio.

O acúmulo de cálcio nos grãos pode ter sido prejudicado pelo tratamento com S^0 , como foi verificado no Gráfico 8. Com a aplicação de S^0 na fase reprodutiva pode ter estimulado a planta a realizar mais síntese de clorofila, com esse estímulo a planta pode ter remobilizado o novamente os Cálcio para as folhas, estimulando a formação de folhar (TAIZ; ZAIGER, 2017; MARSHENER 1995).

A forma como o S_0 é absorvida pela planta ainda é pouco conhecido, porém em condições de solo a velocidade de absorção do SO_4^{2-} , forma que é assimilado pelas plantas, depende do cátion acompanhante, obedecendo a seguinte série crescente: Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , K^+ (MALAVOLTA, 1979), assim pode-se considerar que os íons sulfato e cálcio possuem uma correlação. Todavia, diferente do efeito deletério observado neste estudo, Rezende; Carvalho; Santos (2009), avaliou a relação de doses de S^0 aplicadas via foliar no acúmulo de nutrientes na planta e na produtividade da soja e observou elevados teores de Ca e S na planta

decorrentes da aplicação de S foliar. Landry; Lagris-dalaporte; Ferron (1991) observou melhorias metabólicas na planta de trigo, quando utilizado fontes de S^o aplicado via foliar em situações de deficiência do elemento promoveu aumento da absorção do elemento e mudanças no metabolismo do nitrogênio. Em condições de campo, plantas que foram tratadas maiores doses de S^o, permaneceram mais tempo verdes, fotossinteticamente ativas, o que demonstra que o enxofre tem uma baixa mobilidade no floema, permanecendo nas folhas (MALAVOLTA, 1980). Assim, é um elemento que tem sua assimilação facilitada em tecidos fotossintetizantes, necessitando das coenzimas reduzidas (ferredoxina) na sua assimilação, após a assimilação o S segue uma rota de síntese proteica (principalmente glutamato) (FRANKEHAUSER; BRUNOLD, 1978).

Nesse estudo, aplicação de S^o associado ou não com aminoácidos não interferiu nos teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Teor de Proteína Bruta do Grãos (TP) dos grãos de trigo em quatro diferentes localidades testadas. Pois eles não são os fatores limitante nos ambientes em que foram testados (KREUZ, et. al. 2020).

3.4 CONCLUSÃO

Não ocorreu incremento em produtividade, nem na qualidade nutricional de grãos na aplicação de enxofre elementar via foliar em condições em que o enxofre não está em limitação no solo para a produção da cultura do trigo.

A aplicação de aminoácidos via foliar não aumentou produtividade ou qualidade nutricional de grãos de trigo nas condições do local da condução do ensaio.

A associação de aminoácido e enxofre não influencia os componentes produtivos e nem de qualidade nutricional dos grãos de trigo.

4 ARTIGO B

Qualidade de sementes de trigo produzido com doses de enxofre elementar nanoparticulado associado com aminoácidos via foliar

Resumo

A qualidade de sementes pode ser um dos principais limitantes na produção de trigo, para isso a boa disponibilidade de nutrientes para a planta é essencial, entre eles o enxofre (S) destaca-se por participar na formação de proteínas, assim como aminoácidos, sendo essencial para a formação de uma semente de qualidade. O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade fisiológica de sementes de trigo produzidos com aplicação via foliar de enxofre elementar (S⁰) e seu efeito associativo com aminoácidos. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina-PR e em uma área comercial no distrito de Sertaneja-PR, na safra de 2022 e na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina-PR e em uma área comercial no distrito de Faxinal-PR, na safra de 2023, totalizando quatro ambientes. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizado (DBC) em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, sendo os fatores: cinco doses de S⁰ (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associadas ou não com aminoácidos (250 ml ha⁻¹). No trabalho foram avaliadas as características de qualidade de sementes: Primeira contagem de germinação (vigor), germinação, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, massa seca de parte aérea, massa seca de raízes. Os dados foram submetidos as análises de normalidade e homogeneidade dos erros, atendidos os pressupostos foram feitos às análises de variância e regressão ($p \leq 0,05$). Dos ensaios feitos nos quatro ambientes de estudo: Londrina-PR (2022 e 2023), Sertaneja-PR (2022) e Faxinal-PR (2023). Foi observado significância para o efeito do tratamento com doses de S apenas para o parâmetro primeira contagem de germinação em Sertaneja-PR, que em seu estudo de regressão foi observado um resultado linear crescente, verificando um melhor vigor da planta com as maiores doses de S⁰. Para os restantes das variáveis em ambos os municípios não foi observado efeito significativo para os a interação dos tratamentos dose de S⁰ e associação com aminoácidos) e seu efeito isolado. Desta forma, concluiu-se que a aplicação de S⁰ e aminoácido não alterou a qualidade e fisiologia de sementes de trigo em condições edafoclimáticas desses ensaios.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; Enxofre; Proteínas; Germinação; Vigor.

Quality of wheat seeds produced with doses of nanoparticulate elemental sulphur associated with amino acids via foliar application

Abstract

Seed quality can be one of the main limiting factors in wheat production. For this to happen, good availability of nutrients for the plant is essential. Sulphur (S) stands out

among these because it participates in the formation of proteins, as well as amino acids, and is essential for the formation of quality seed. The aim of this study was to verify the physiological quality of wheat seeds produced with foliar application of elemental sulphur (S^0) and its associative effect with amino acids. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the State University of Londrina, in Londrina-PR and in a commercial area in the district of Sertaneja-PR, in the 2022 harvest and at the Experimental Farm of the State University of Londrina, in Londrina-PR and in a commercial area in the district of Faxinal-PR, in the 2023 harvest, totaling four environments. The experimental design used was entirely randomized blocks (DBC) in a 2x5 factorial scheme, with four replications, the factors being: five doses of S^0 (0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹), associated or not with amino acids (250 ml ha⁻¹). Seed quality characteristics were assessed: First germination count (vigor), germination, aerial part length, root length, aerial part dry mass, root dry mass. The data was analyzed for normality and homogeneity of errors, and once the assumptions were met, variance and regression analyses were carried out ($p \leq 0.05$). From the trials carried out in the four study environments: Londrina-PR (2022 and 2023), Sertaneja-PR (2022) and Faxinal-PR (2023). Significance was observed for the effect of treatment with doses of S only for the parameter first germination count in Sertaneja-PR, which in its regression study showed an increasing linear result, verifying better plant vigor with the higher doses of S^0 . For the rest of the variables in both municipalities, there was no significant effect for the interaction between the treatments (dose of S^0 and association with amino acids) and their isolated effect. It was therefore concluded that the application of S^0 and amino acids did not alter the quality and physiology of wheat seeds under the soil and climate conditions of these trials.

Keywords: *Triticum aestivum*; Sulfur; Proteins; Germination; Force.

4.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, há interesse socioeconômico em aumentar a produção de trigo (*Triticum aestivum L.*), pois, além do atender à demanda nacional de grãos, seu cultivo no período do inverno promove vantagens para as culturas que vão a suceder no verão, como soja e milho (SILVA; FERREIRA; NOGUEIRA JUNIOR, 2004). Sendo o segundo grão mais consumido no mundo, representa 30% da produção mundial. O Brasil é o 8º maior país importador de trigo do mundo, procurando nos últimos anos conquistar sua subsistência de seu cultivo. Na safra de 2023 sua área cultivada foi de 34,7 milhões hectares, com produtividade de 2.331 kg ha⁻¹ e produção de 8,09 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Porém, com a procura por aumento de produtividade da cultura, como melhoramento genético e uso de práticas culturais mais eficientes, poderão ser frustrados se a qualidade das sementes for fator limitante no processo produtivo. Nos campos de produção de sementes, o uso de fertilizantes é mais comum do que em lavouras para produção de grãos, pois, à composição e disponibilidade de nutrientes para as plantas, influenciam na sua produção e qualidade, afetando a formação do embrião e dos órgãos de reserva, assim como a composição química e, conseqüentemente, o metabolismo e o vigor das sementes (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA, 2006).

Entre as estruturas da semente, as proteínas assumem um papel essencial para sua qualidade, por serem responsáveis por catalisar reações da quebra de tecidos de reserva do endosperma (amido), responsáveis por fornecer energia para a divisão celular resultando na emissão da radícula do embrião e posterior emergência da plântula (MARCOS FILHO, 2017).

Contudo, o número de experimentos relacionados especificamente com essa finalidade é limitado, de modo que o emprego de fertilizantes é feito com base nos resultados para as respectivas culturas destinadas ao consumo de grãos (DELOUCHE, 1981). O vigor das sementes, que exprime seu nível de qualidade fisiológica, está relacionado com uma série de fatores como: condições climáticas durante a maturação, condições de armazenamento, tamanho das sementes, grau de injúria mecânica, tratamento químico das sementes e nutrição das plantas entre outros (SÀ, et. al. 1994 e TEIXEIRA, 2005).

Pensando em uma melhor formação das sementes, com uma boa

composição proteica da mesma, pode-se pensar numa melhor utilização fertilizantes a base enxofre, por ser responsável pela formação de alguns aminoácidos (cistina e metionina) que juntamente com a ligação com outros aminoácidos são responsáveis por formar proteínas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Os aminoácidos além da formação de proteínas, podem ter outras funções no funcionamento da planta, como: cofatores enzimáticos, osmoprotetores, antioxidantes, sinalizadores, entre outras funções. Devido a suas várias funções na planta tem-se destacado a utilização de aminoácidos via foliar nas lavouras comerciais, procurando resultados em situações de estresse ou como ativador do metabolismo, servindo como alternativa de manejo (FLOSS, et. al. 2007; RUSSO; BERLYN, 1990).

Dessa forma, a hipótese do trabalho consiste em analisar se o enxofre elementar juntamente com os aminoácidos aplicados via foliar durante a fase reprodutiva da cultura do trigo, irão suprir as suas necessidades resultando em melhores condições de desenvolvimento e conseqüentemente tornando as sementes com maior qualidade fisiológica.

O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade de sementes para a produção de trigo com aplicação via foliar de enxofre elementar e seu efeito associativo com aminoácidos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em quatro ambientes de cultivo na segunda safra dos anos agrícolas de 2022 e 2023. No ano de 2022 foi instalado no município de Londrina-PR e no município de Sertaneja-PR, já no ano de 2023 foi instalado novamente no município de Londrina-PR e no município de Faxinal-PR.

O solo da estação experimental em Londrina-PR é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVe) com 65% de argila, 25% de silte e 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23° 20' 23.45 Sul e 51° 12' 32.28" Oeste, e altitude de 560 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual: 22°C, média máxima anual: 27°C, média mínima anual: 17°C.

O solo da estação experimental do município de Sertaneja-PR é

caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico com 65% de argila, 25% de silte, 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 22° 85' 00" S e 50° 87' 45' e altitude de 520 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual: 21,9°C, média máxima anual: 26,9°C, média mínima anual: 16,9°C.

O solo da estação experimental do município de Faxinal-PR é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVe) com 65% de argila, 25% de silte e 10% de areia e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Localiza-se a uma latitude 23°56'27" sul e a uma longitude 51°35'16" oeste, com altitude de com 820 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa - subtropical úmido com verões quentes. A média anual é de 19°C, sendo a média anual das máximas de 23°C e média anual das mínimas de 15°C.

Tabela 11: Caracterização química dos solos utilizados no experimento nos municípios de Londrina-PR, Sertaneja-PR e Faxinal-PR. 2022/2023. Interpretação feita de acordo com Manual de adubação e calagem do estado do Paraná (PAULETTI, 2006).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO																
Local	PH (CaCL)	MOS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ²⁺	P	K	CTC	V	S	B	Zn	Mn	Cu	Fe	
		g dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³		%	mg dm ⁻³						
Londrina-PR 2022	4,2	9,3	4,25	1,14	0	13,6	0,56	10,9	64,1	13	0,49	1,8	72,5	13,8	16	
Nível	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Muito Alto	Médio	alto	Muito Alto	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto	
Sertaneja-PR 2022	5,08	22,94	5,97	1,8	0	37,61	0,4	14,54	56,32	31,13	0,77	28,42	423,5	29,18	85,19	
Nível	Alto	Médio	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Médio	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto	
Londrina-PR 2023	4,8	10,3	6,33	1,5	0	11,6	0,53	12,3	67,9	13	0,49	1,8	72,5	13,8	16	
Nível	Médio	Médio	Muito Alto	Alto	Baixo	Alto	Muito Alto	Médio	Alto	Muito Alto	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto	
Faxinal-PR 2023	4,82	49,49	3,51	1,46	0,47	18,87	0,25	5,72	39,84	7,72	0,83	0,8	19,56	0,77	166,55	
Nível	Médio	Alto	Alto	Alto	Baixo	Muito Alto	Médio	Baixo	Baixo	Muito Alto	Muito Alto	Baixo	Médio	Médio	Muito Alto	

Fonte: adaptado de Pauletti, 2006.

Os experimentos foram implantados em delineamento blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por 14 linhas de sete metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 17 centímetros. Foi considerada área útil de cada parcela as seis linhas centrais, desprezando-se as quatro linhas das duas extremidades (bordadura).

O primeiro fator experimental foi a associação a associação ou não com os aminoácidos (proteína animal hidrolisada) e o segundo fator experimental foi as cinco doses de enxofre elementar (S⁰) via foliar, 0, 500, 1000, 1500, 2000 g ha⁻¹, com um volume de calda de 300 L ha⁻¹, durante a fase de Antese, código 6 de acordo com escala de Zadoks (Zadoks et al. (1974).

Os aminoácidos utilizados no trabalho foram obtidos a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno), obtida do subproduto da fabricação de produtos à base de couro animal, ele possuía em sua composição (Tabela 9).

Tabela 12: Perfil de aminoácidos e de aminoácidos livres presentes no produto produzido a partir da hidrólise química da proteína animal (colágeno).

Perfil de aminoácidos				
Parâmetro	Resultado	Unidade	Valor estimado	Unidade
Ácido Aspártico	3,07	%	2,51	%
Ácido Glutâmico	5,62	%	4,65	%
Alanina	5,73	%	4,5	%
Arginina	2,02	%	2,15	%
Fenilalanina	1,12	%	0,95	%
Glicina	13,49	%	11,35	%
Histidina	0,41	%	0,29	%
Isoleucina	0,75	%	0,61	%
Leucina	1,82	%	1,48	%
Lisina	1,85	%	1,59	%
Prolina	8,26	%	6,76	%
Serina	0,36	%	0,54	%
Tirosina	<0,04	%	0,31	%
Treonina	0,23	%	0,28	%
Valina	1,49	%	1,1	%
Cistina + Cisteína	0,03	%	0,03	%
Metionina (total)	0,54	%	0,11	%
Colágeno	360	mg/g	100	%
Perfil de aminoácidos livres				
Parâmetro	Resultado	Unidade	Valor estimado	Unidade
Ácido Aspártico	0,05	%	0,03	%
Ácido Glutâmico	0,09	%	0,03	%

Alanina	0,32	%	0,13	%
Arginina	<0,01	%	0,022	%
Fenilalanina	0,03	%	0,02	%
Glicina	1	%	0,41	%
Histidina	<0,01	%	0,01	%
Isoleucina	0,88	%	0,02	%
Leucina	<0,01	%	0,05	%
Lisina	0,03	%	0,02	%
Prolina	0,22	%	0,1	%
Serina	0,24	%	0,13	%
Tirosina	<0,01	%	0,012	%
Treonina	0,01	%	0,013	%
Valina	<0,01	%	0,01	%
Cisteína	0,02	%	0	%
Metionina	0,07	%	0,01	%
Triptofano	<0,01		0,01	%
Colágeno	360	mg/g	100	%

Fonte: adaptado de Eurofins, 2023.

Já sua composição química: 7,4% de Nitrogênio total, 0,0007% de Fósforo total, 0,002% de Potássio total, 0,070% de Cálcio total, 0,001% de Magnésio total, 0,070% de Enxofre total, 0,0001% de Boro, <0,0001% de Cobre, 0,001% de Ferro total, <0,0001% de Manganês total, 0,001% de Zinco total, <0,0001 de Molibdênio total, <0,0001% de Cobalto total, 1,30% de Cloretos total, 0,011% de Silício total, 5,40% de Sódio, 16,5% de Carbono Orgânico Total, 6,1 pH (CaCl₂ 0,01M na relação 1:5), 16,4 mS cm⁻¹ e 1,311 g cm⁻³ de densidade (a 20°C).

E o Enxofre elementar nanoparticulado, possui como características: natureza física: fluido (suspensão concentrada), relação soluto/ solvente: 200mL 1L⁻¹ de água, sua composição química é de 1,0% p p⁻¹ (13,6 g L⁻¹) de Nitrogênio total, 50,0% p p⁻¹ (690 g L⁻¹) e densidade de 1,38 g cm⁻³.

No experimento de Londrina-PR, nas safras de 2022 e de 2023, foi a foi utilizada a cultivar TBIO Ponteiro: classificação de pão, força de glúten de 329, estabilidade de 18,6 minutos, grão duro, cor vermelha e peso de mil sementes de 35g, ciclo médio tardio, espigamento médio tardio, altura de plantas média alta, comportamento à geadas resistente/ moderadamente resistente, comportamento a acamamento moderadamente resistente, comportamento à debulha natural moderadamente resistente.

A sua recomendação é para uma densidade de 300 a 330 plantas finais/m², para todos os níveis de investimento. Permite semeaduras antecipadas com menor risco de perdas por geadas, dado seu ciclo vegetativo mais longo, e

apresenta resistência a mancha amarela e giberela como doenças-alvo (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

Já cultivar utilizada na área de Sertaneja-PR, na safra de 2022, foi a RBO Combatente: classificação de pão, com tendência a ser melhoradora, e estabilidade de 10,4 minutos, ciclo médio tardio 68 dias para florescer e altura de plantas média de 73 cm. A sua recomendação é para uma densidade 240 a 260 plantas finais/m² (TAMONA SEMENTES, 2023).

E a cultivar utilizada na área de Faxinal-PR, na safra de 2023, foi a JVC Cerne: classificação de pão, com tendência a ser melhoradora, e estabilidade de 10,4 minutos, ciclo médio tardio 68 dias para florescer e altura de plantas média de 73 cm. A sua recomendação é para uma densidade 240 a 260 plantas finais/m² (TAMONA SEMENTES, 2023).

Os tratos culturais utilizados nos ensaios foram feitos de acordo com as Indicações técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para o Estado do Paraná (SILVA; BASSOI; FOLONI, 2017). A aplicação de fungicidas foi como controle erradicativo no aparecimento dos primeiros sintomas.

Na área de Londrina-Pr, no ano agrícola de 2022, foi instalado o experimento no dia 27/04/2022. O manejo de plantas daninhas foi realizado inicialmente antes de instalar a cultura na área no dia 18/04/2022, utilizado os herbicidas Glyfosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D 2 L ha⁻¹, seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2022 de Topic (Clodinafopropargil) na dose de 2 L ha⁻¹ e dia 15/06/2022 de 2.4-D na dose de 2 L ha⁻¹. A adubação de 250 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, junto ao plantio no dia 27/04/2022, mais a aplicação a lanço de 200 Kg ha⁻¹ de Sulfato de amônia, no dia 09/06/2022. A colheita realizada no dia 10/09/2022

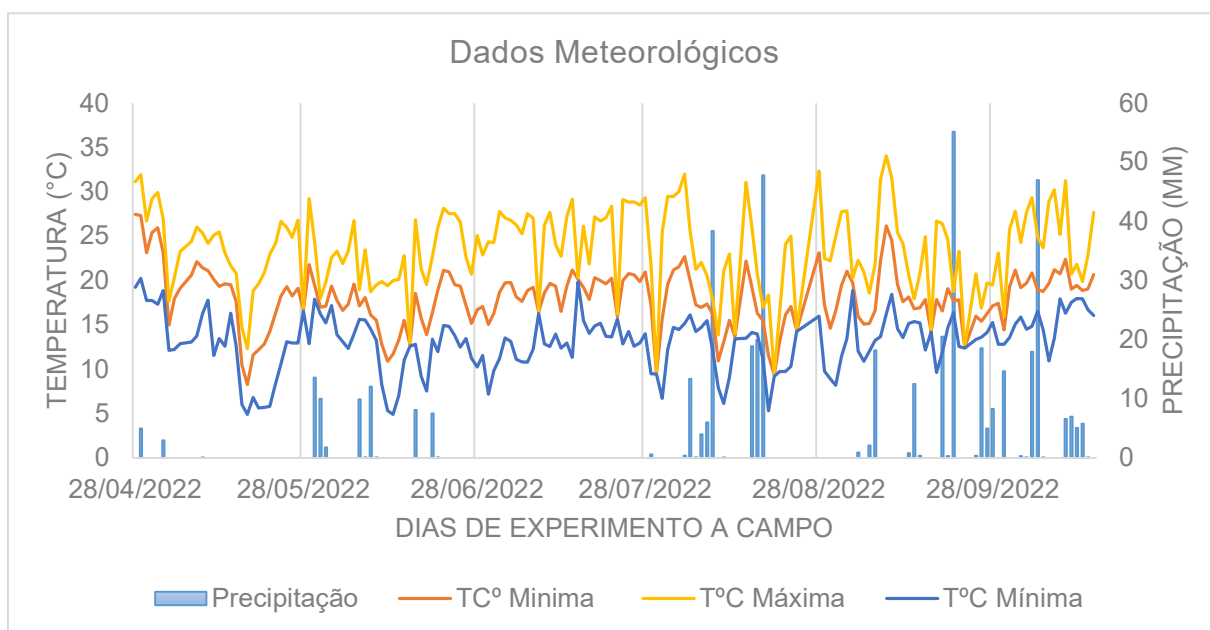
Na área de Sertanópolis-Pr, no ano agrícola de 2022, foi instalado no dia 20/05/2022. O manejo plantas daninhas foi realizado inicialmente antes de instalar a cultura na área no dia 05/05/2022, foi utilizado os herbicidas Glifosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D 2 L ha⁻¹, juntamente com roçada dos restos culturais (algodão), seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2022 de Glifosato na dose de 2 L ha⁻¹. A adubação foi de 600 Kg ha⁻¹ de formulado 13-14-8, junto ao plantio 20/05/2022 mais a aplicação a lanço de 300 Kg ha⁻¹ de Sulfato de amônia, no dia 09/07/2022. A colheita foi realizada no dia 16/10/2022.

No segundo ano (2023) na área de Londrina-Pr, foi instalado no dia 20/04/2023. O manejo plantas daninhas realizado inicialmente antes de instalar a cultura na área no dia 04/04/2023, foi utilizado os herbicidas Glifosato na dose de 2 L ha⁻¹ e 2.4-D na dose de 0,5 L ha⁻¹, seguindo para uma aplicação de pós emergência da cultura dia 06/06/2023, 2.4-D na dose de 1 L ha⁻¹. O manejo de adubação foi de 250 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, junto ao plantio dia 20/04/2023 a aplicação. O manejo fitossanitário foi feito com a aplicação do fungicida: Aproche Power (Picoxistrobina/ Estrobilurina e Ciproconazol/ Triazol), na dose 600 mL ha⁻¹, no dia 04/08/2023. A colheita foi realizada dia 29/08/2023.

Na área de Faxinal-Pr, no ano agrícola de 2023, a instalação foi feita dia 25/05/2023. O manejo plantas daninhas foi realizado inicialmente antes de instalar a cultura na área no dia 05/05/2023, foi utilizado os herbicidas Glyfosato na dose de 2 L ha⁻¹. O manejo de adubação foi de 600 Kg ha⁻¹ de formulado 10-15-15, juntamente com o plantio no dia 25/05/2022, mais a aplicação a lanço de 300 Kg ha⁻¹ de Sulfato de amônia, no dia 09/07/2022. O manejo fitossanitário foi feito com a aplicação do fungicida: Aproche Power (Picoxistrobina/ Estrobilurina e Ciproconazol/ Triazol), na dose 600 mL ha⁻¹, no dia 22/08/2023. A colheita foi realizada dia 20/10/2023.

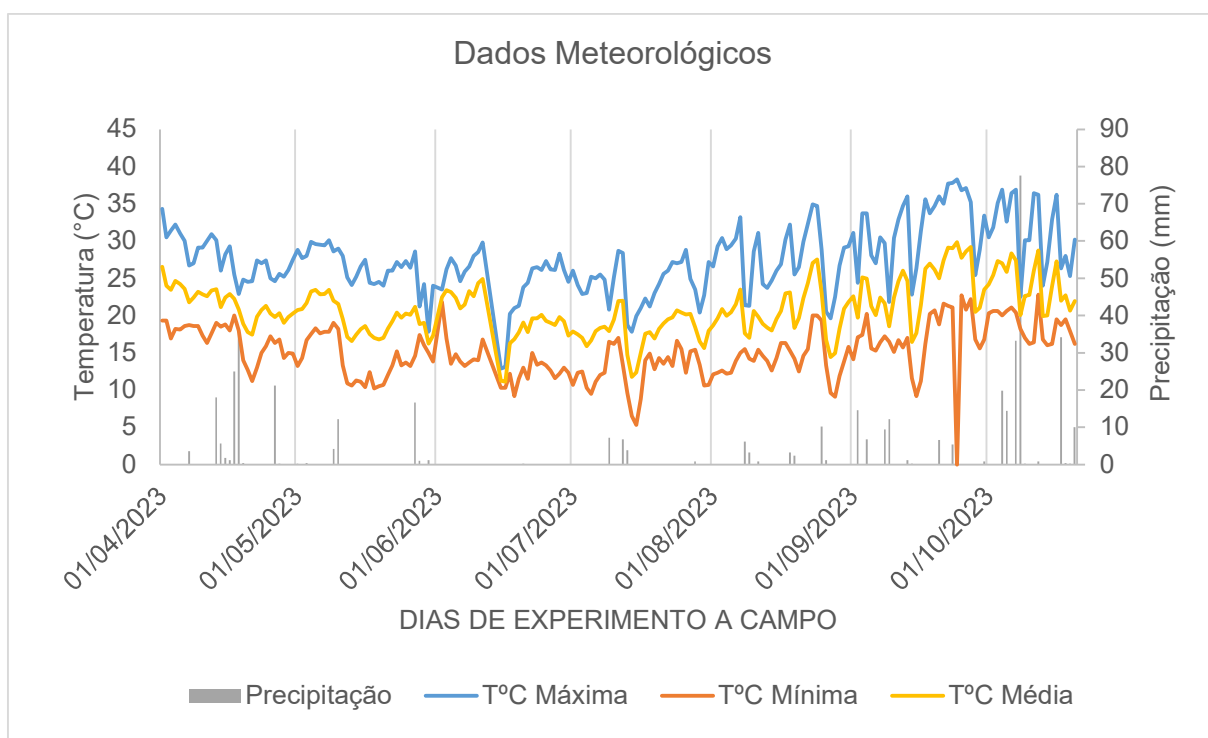
Os dados de precipitação pluvial, temperaturas máxima, mínima e média durante a condução dos experimentos foram obtidas através dos registros da estação meteorológica do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) para os respectivos municípios de Londrina e Sertaneja-PR (Gráfico 7). Foram utilizados os dados apenas do município de Londrina para o município de Sertaneja, devido ao posto meteorológico mais próximo ser o do município de Londrina.

Gráfico 5: Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2022, diário. Londrina-PR. 2023.



Fonte: adaptada de IDR-PR, 2024

Gráfico 6: Precipitação pluvial (mm), temperatura do ar máxima (T máx °C), mínima (T mín °C) e média (T média °C) do município de Londrina e Sertaneja, no período experimental da segunda safra do ano 2023, diário. Londrina-PR. 2024.



Fonte: adaptada de IDR-PR, 2024.

Durante 60 dias após colheita, as sementes foram mantidas armazenadas na câmara fria do laboratório de fitotecnia do centro de ciências

agrarias da UEL (CCA). Após esse período foram feitas as análises de qualidade fisiológica de sementes no laboratório de fitotecnia do centro de ciências agrarias da UEL (CCA).

O teste de germinação das sementes foi realizado com quatro repetições de 50 sementes, em papel toalha Germitest umedecido com água, com pH entre 6,0 e 7,5, conforme regra de análises, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato. Os rolos de papel foram mantidos em germinador sob temperatura de 20 °C por sete dias. A avaliação foi feita em duas contagens, aos quatro (primeira contagem – PC) e aos sete dias (segunda contagem) após a instalação do teste, computando-se a porcentagem de plântulas normais, anormais e sementes mortas (BRASIL, 2009).

O comprimento de raiz e parte aérea das plântulas foi realizado a partir da semeadura de cinco repetições de 20 sementes, no terço superior de uma folha de papel Germitest, umedecido com água, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel contendo as sementes permaneceram por quatro dias em germinador, à temperatura de 20 °C, quando então foram medidos o comprimento das plântulas normais, com auxílio de uma régua milimetrada. O comprimento médio raiz e parte aérea das plântulas foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-se pelo número de plântulas normais, sendo os resultados expressos em centímetros por plântula.

A massa seca de raiz e parte aérea foi conduzida juntamente com o teste de comprimento de plântulas. Após a medição da raiz e parte aérea das plântulas normais, no teste de comprimento de plântulas, estas foram cortadas e separadas do restante das sementes (tecido de reserva). A raiz e parte aérea de plântulas normais foram separadas e colocadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçada, regulada à temperatura de 80 °C, durante 24 horas. Ao final desse período, a massa seca foi avaliada em balança com precisão de 0,0001 g, determinando-se assim a massa seca das plântulas normais. Os resultados foram expressos em mg por plântula.

O teste de índice de velocidade de emergência (IVE) foi realizado com oito repetições de 25 sementes por lote. A areia utilizada foi previamente lavada e, depois, levada a bandejas plásticas. Na semeadura, as sementes foram cobertas com uma camada de três cm de areia. O teste foi conduzido em casa de vegetação, e a umidade, mantida com irrigações de acordo com a necessidade. A avaliação do

número de plântulas emergidas foi realizada a partir do primeiro dia de emergência, sendo que, durante o período de 15 dias foram realizadas contagens diárias do número de plântulas emergidas. Esta contagem foi realizada sempre no mesmo horário, sendo determinado o índice de velocidade de emergência.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wylk) e homocedasticidade (Hartley). Com os pressupostos iniciais atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância com teste F e regressão a 5% de significância com auxílio do Software R.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados meteorológicos dos municípios de Londrina-PR e Sertaneja-PR no ano de 2022 foram observadas precipitações no período de condução do experimento (Abril a Outubro) para o município de Londrina-PR é de 300 mm e para o município de Sertaneja-PR é de 260 mm (IAPAR/IDR, 2023). Já as temperaturas medias variando entre 17,5 e 21°C.

Considerando que a cultura do Trigo necessita de 200 a 400 mm de água durante o ciclo para produção de grãos (RODRIGUES, et. al. 2011). Mesmo a precipitação atingindo o mínimo necessário para o bom desenvolvimento da cultura, nota-se uma boa distribuição dela com relação aos seus estádios fenológicos. Porém a precipitação encontrou-se presente também na sua colheita o que dificultou a colheita dos ensaios. Já suas temperaturas permaneceram na faixa adequada para o desenvolvimento da cultura, entre 15 e 20°C (RODRIGUES, et. al. 2011), (Gráfico 5).

Os dados meteorológicos dos municípios de Londrina-PR e Faxinal-PR no ano de 2023 foram observadas precipitações no período de condução do experimento (Abril a Outubro) para o município de Londrina-PR é de 260 mm e para o município de Faxinal-PR é de 330 mm (IAPAR/IDR, 2023). Já as temperaturas medias variando entre 17 e 21°C.

Considerando que a cultura do Trigo necessita de 200 a 400 mm de água durante o ciclo para produção de grãos (RODRIGUES, et. al. 2011). Mesmo a precipitação atingindo o mínimo necessário para o bom desenvolvimento da cultura, nota-se uma boa distribuição dela com relação aos seus estádios fenológicos. Porém a precipitação encontrou-se presente também na sua colheita o que dificultou

a colheita dos ensaios. Já suas temperaturas permaneceram na faixa adequada para o desenvolvimento da cultura, entre 15 e 20°C (RODRIGUES, et. al. 2011), (Gráfico 6).

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S° (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses S° (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis: germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) (Tabela 13).

Tabela 13: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PC (%)	G (%)	IVE (%)	CPA (cm)	CR (cm)	MSPA (g)	MSR (g)
Aminoácido (A)	1	0,7620	0,8805	0,8678	0,4988	0,7981	0,6890	0,2523
Doses S (D)	4	0,1830	0,3732	0,8426	0,9471	0,9870	0,4630	0,3353
A x D	4	0,8208	0,8502	0,8120	0,1740	0,2955	0,7877	0,2204
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		22,42	9,75	9,06	7,64	20,39	32,21	25,12
Média Geral		31,706	80,175	63,768	4,892	10,758	0,0888	0,0789

Fonte: próprio autor, 2024.

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S° (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S° (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Apenas a variável primeira contagem de germinação (PC) que apresentou significância dos dados a 5% para o efeito isolado do fator doses de S° (S) (Tabela 14).

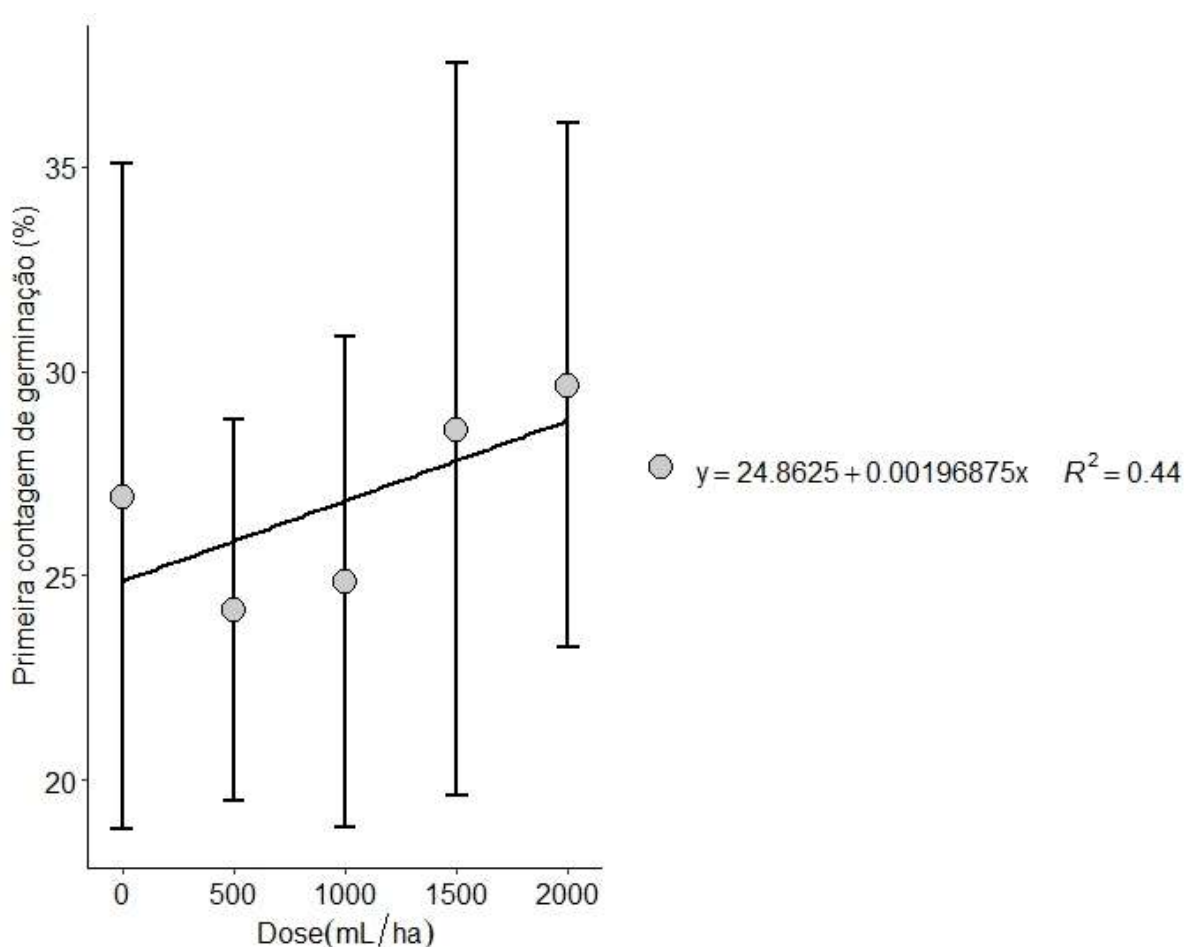
Tabela 14: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Sertaneja-PR na safra de 2022.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PC (%)	G (%)	IVE (%)	CPA	CR	MSPA	MSR
Aminoácido (A)	1	0,0072	0,8805	0,8563	0,7767	0,0644	0,8473	0,2514
Doses S (D)	4	0,0041	0,3733	0,8354	0,9024	0,0786	0,5673	0,3356
A x D	4	0,0660	0,8503	0,8026	0,3759	0,0384	0,8732	0,4530
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		14,58	9,75	9,09	34	22,79	25,72	21,27
Média Geral		26,831	80,175	62,888	11,703	17,851	0,0724	0,0738

Fonte: próprio autor, 2024.

Para o efeito isolado do fator doses de S^o (S), foi verificado que a variável primeira contagem de germinação (PC), dessa forma em sua análise de regressão, foi verificado um comportamento linear crescente. Dessa forma podemos constatamos que o aumento da dose de aplicação afetava positivamente no vigor da semente (Gráfico 7).

Gráfico 7: Regressão polinomial do desdobramento do efeito isolado do fator doses de enxofre elementar (S), para a variável primeira contagem de germinação. Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2022.



Fonte: próprio autor, 2024.

O resultado apresentado no Gráfico 7, foi verificado o efeito positivo no vigor da semente (primeira contagem de germinação) para as doses de S^o utilizadas, isso pode ser devido a uma melhor constituição da semente, da parte proteica (TAIZ; ZAIGER, 2017). As proteínas presentes nas sementes, possuem papel essencial, sendo diretamente ligadas ao processo de germinação da semente, sendo essenciais tanto para a sinalização da germinação quanto atuando diretamente na quebra de estruturas de reserva (MARCOS FILHO, 2017).

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte

aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). (Tabela 15).

Tabela 15: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Londrina-PR na safra de 2023.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PC (%)	G (%)	IVE (%)	CPA	CR	MSPA	MSR
Aminoácido (A)	1	0,6836	0,7912	0,4672	0,8186	0,6480	0,3337	0,3473
Doses S (D)	4	0,9743	0,7260	0,2829	0,8896	0,0547	0,4694	0,3924
A x D	4	0,0744	0,5794	0,7866	0,3449	0,1952	0,6214	0,9618
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (5%)		33,42	33,42	10,28	35,5	34,85	38,27	72,02
Média Geral		33,260	33,260	67,66	9,742	8,786	0,147	0,0699

Fonte: próprio autor, 2024.

Conforme a análise de variância dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023, a interação dos fatores aminoácido e as doses de S^o (A*S) e efeitos isolados do fator aminoácidos (A) e do fator doses de S^o (S), não foi verificado significância dos dados a 5%, para as variáveis germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). (Tabela 16).

Tabela 16: Resumo da análise de variância para as características de germinação (G%), primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de emergência (IVE%), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Dos dados obtidos no município de Faxinal-PR na safra de 2023.

Causas de variação	G.L.	P-VALOR						
		PC (%)	G (%)	IVE (%)	CPA	CR	MSPA	MSR
Aminoácido (A)	1	0,6567	0,2645	0,4864	0,5963	0,8172	0,9337	0,1513
Doses S (D)	4	0,1376	0,4752	0,1809	0,1628	0,2101	0,6585	0,4356
A x D	4	0,0881	0,4812	0,8856	0,9585	0,1875	0,8869	0,3207
Resíduo	27	-	-	-	-	-	-	-

C.V. (5%)	15,71	2,82	9,58	17,35	22,95	35,71	20,37
Média Geral	67,2	92,325	66,971	12,89	15,585	0,0897	0,0878

Fonte: próprio autor, 2024.

Esses resultados obtidos nos experimentos corroboram, em Londrina-PR (2022 e 2023), Sertaneja-PR e Faxinal-PR (Tabela 13, 14, 15 e 16), pode ser explicado devido a boa disponibilidade de S no solo da área onde foi feito os ensaios, tendo em vista que os teores estavam por volta de 13, 13, 31,13 7,73 mg dm⁻³ respectivamente para cada ensaio (Tabela 11), sendo classificado como nível alto, por estar com mais de 6 mg dm⁻³ no solo. Dessa forma, podemos constatar que mesmo em uma condição de produção de sementes, as reservas do solo já seriam o suficiente para suprir a necessidade da cultura (PAULETTI, 2004).

Quando transformamos os valores de mg dm⁻³ para kg ha⁻¹ (20 cm de profundidade) observar que temos nos ensaios: 26; 26; 62,26; 15,46 kg ha⁻¹ de S no solo para os municípios de Londrina-PR (2022 e 2023), Sertaneja-PR e Faxinal-PR.

Para uma boa constituição as sementes a planta necessidade de bons níveis de nutrientes no solo, para isso devemos seguir os boletins de adubação e calagem (RAIJ, 1997, GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2012 e PAULETTI, 2004), visando o melhor fornecimento de nutrientes essenciais e condições climáticas ideais para um bom desenvolvimento da cultura (RODRIGUES, et. al. 2007).

Para a recomendação de adubação de um campo de sementes, podemos utilizar a exportação cultura (OLIVEIRA THUNG, et. al. 1988). A cultura do trigo, por extrair 3,5 Kg de S para cada tonelada produzida e exportar 1,2 Kg de S para cada tonelada produzida (PAULETTI, 2004).

Outro fator muito importante de ser destacado nesse solo é o teor de matéria orgânica no solo (MOS), em especial para os ensaios de Sertaneja-PR e Faxinal-PR que encontrava-se em 22,94 e 49,49 g kg⁻¹, classificados como alto (PAULETTI, 2004).

A matéria orgânica possui esse destaque devido a dinâmica do S nos solos, por possuir um papel muito importante. Devido à alta mobilidade do íon sulfato no perfil de solo, torna esse nutriente muito propenso a ser perdido por lixiviação, dessa forma o S presente na matéria orgânica e de extrema importância para nutrição da planta, por ser uma forma de liberação mais lenta (dependente de

microrganismos do solo e clima) (OSÓRIO FILHO, et. al. 2006).

Aliado ao clima do território brasileiro (quente e úmido), a decomposição da matéria orgânica ocorre com muita velocidade, além disso, com uma biomassa com baixa relação C/N e lignina/N (resteva de algodão deixado na área do ensaio de sertaneja) (TIMOSSI; DURIGAN; LEITE, 2007), o que confere menor persistência da palhada, característica desejável nas condições em que há rápida decomposição da cobertura de solo. Essa rotação de cultura permite a melhor ciclagem dos nutrientes (MOHLER, et. al. 2009), que pode ser comprovado com a análise química desse solo (Tabela 1).

Em regiões úmidas a maior parte do S disponível as plantas se encontram associado à matéria orgânica. Neste caso somente é disponibilizado para as plantas através de transformações biológicas responsáveis pela mineralização da matéria orgânica (SFREDO; LANTMANN, 2007).

Assim podemos contatar que aliando as reservas de S presentes, a matéria orgânica presentes nos solos dos ensaios e uma certa quantidade de S assimilado via folha (TIESHER, et. al. 2013), a necessidade que a cultura possuía pelos nutrientes foi suprida.

Lembrando que durante o ciclo da cultura do trigo, a fase de enchimento de grãos, fase 7.0 (Figura 2) que vamos construir o potencial da semente, sendo essencial o bom suprimento de nutrientes (KREUZ, et. al. 2020). Ao final dessa fase vamos chegar à maturidade fisiológica: ponto no qual a semente tem seu máximo de potencial fisiológico (RODRIGUES, et. al. 2011), a partir desse ponto a semente começa a perder esse potencial (deterioração de sementes) (MARCOS FILHO, 2015).

Plantas adubadas de modo adequado e equilibrado apresentam condições de produzir maior quantidade de sementes, aliada a melhor qualidade, visto que elas poderão resistir mais facilmente às adversidades no período de produção (SÁ, 1994). A disponibilidade de nutrientes influencia a formação do embrião e dos cotilédones, com resultados eficazes sobre o vigor e a qualidade fisiológica (TEIXEIRA, 2005).

No trabalho de Vieira (1986), também não foi observaram efeito de fontes e doses de S⁰ no vigor de sementes de feijoeiro avaliado pelo envelhecimento acelerado. Já em Trabalhos realizados com trigo têm indicado a existência de correlação positiva entre o teor de proteína e o vigor das sementes (CARVALHO;

NAKAGAWA, 2000). A correlação entre proteína e vigor de semente, esta relacionada ao papel essencial, sendo diretamente ligadas ao processo de germinação da semente, essenciais tanto para a sinalização da germinação quanto atuando diretamente na quebra de estruturas de reserva (MARCOS FILHO, 2017).

Com no trabalho de Jahan et. al. (2015), que foi feito no tratamento de sementes, isso aumentou o vigor e a germinação em canola. Na cultura do pepino, com um material nanoparticulado também verificou-se aumento da germinação, comprimento de raiz e parte aérea (ALBANNA; SALEM; AWWAD, 2016). Já em soja, Kabir et. al. (2016) verificaram um melhor desenvolvimento com maior altura, número de nódulos, massa seca de parte aérea e de raiz. Porém nesses trabalhos em culturas com maior necessidade por S, diferente do trigo.

Porém em trabalho de Landry; Lagris-dalaporte; Ferron (1991) observou melhorias metabólicas na planta de trigo, quando utilizado fontes de S^o aplicado via foliar em situações de deficiência do elemento promoveu aumento da absorção do elemento e mudanças no metabolismo do nitrogênio. Como nos ambientes em que foram avaliados o ensaio o S encontrava-se em condições ideais, não houve alteração no teor de nitrogênio e conseqüentemente de proteínas das sementes. Já no trabalho de Rennenberg (1984), que o S pode ser tóxico a planta, pelas raízes não possuem um mecanismo eficiente para evitar a absorção excessiva de S.

A falta de significância do fator aminoácido pode ser relacionado as condições de ausência de estresse, como ocorrido durante o experimento, nessas situações a planta tem condições de sintetizar através do seu próprio metabolismo, os aminoácidos essenciais para o seu desenvolvimento (TAIZ; ZAIGER, 2004), O aminoácido não teve resposta, o que poderia ter sido diferente em condições de elevada temperatura, déficit hídrico ou falta de nutrientes (RUSSO; BERLYN, 1990).

No trabalho de Kikuti; Tanaka (2005) em sementes de feijão, avaliaram a aplicação de aminoácidos e concluíram que não ocorreu efeito positivo no vigor de sementes, porém ocasionou melhor qualidade das sementes avaliadas em teste de germinação.

4.4 CONCLUSÃO

Não ocorre incremento na qualidade de sementes, nem nas

caraterísticas químicas das sementes em condições em que o enxofre não está em limitação no solo para a produção da cultura do trigo.

O aminoácido não influenciou a qualidade das sementes de trigo nem nas caraterísticas químicas de sementes de trigo nas condições do local da condução do ensaio.

A associação de aminoácido e enxofre não influenciou a qualidade de sementes e nem as características químicas de sementes de trigo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITRIGO, Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Sobre o trigo: o que é o trigo**. Disponível em: < <https://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/> >. Acesso em: 09 jan. 2024.

ALBANNA, L. S.; SALEM, N. M.; AWWAD, A. M. Seed germination and growth of cucumber (*Cucumis sativus*): effect of nano-crystalline sulfur. **Journal of Agricultural Science**, J Agric Sci v.8, n.10, p.219-225, 2016.

ALEXANDRE, J. R.; OLIVEIRA, M. L. F.; SANTOS T. C.; CANTON G. C.; CONCEIÇÃO J. M.; EUTRÓPIO F. J.; CRUZ Z. M. A.; DOBBS L. B, RAMOS; A. C. **Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo**. Natureza on line, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.

ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS. p. 595-644. 2007

ALVES, L. R. **O uso de aminoácidos na agricultura**. Disponível em: <https://sabri.com.br>, 2017.

AMARO, A. C. E.; ZUCARELI, V.; MISCHAN, M. M.; FERREIRA, G. Combinações entre GA4+7 + N-(fenilmetil)-aminopurina e ethephon na germinação de sementes de *Passiflora cincinnata* Mast. **Revista Brasileira de Sementes**, São Paulo-SP v. 31, n. 1, p. 195-202, 2009.

AMARAL, L. A.; ASCARI J. P.; DUARTE W. M.; MENDES I. R. N.; SANTOS E. S.; JÚLIO L. O. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.

ANTUNES, J. M. **Fertilizante na medida certa em trigo**. Embrapa trigo, 2017. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17063710/fertilizante-na-medida-certa-em-trigo#:~:text=\(IPNI%20Brasil\).-,%20O%20uso%20de%20corretivos%20e%20fertilizantes%20responde%20por%20grande%20parte,at%C3%A9%20na%20qualidade%20dos%20gr%C3%A3os](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17063710/fertilizante-na-medida-certa-em-trigo#:~:text=(IPNI%20Brasil).-,%20O%20uso%20de%20corretivos%20e%20fertilizantes%20responde%20por%20grande%20parte,at%C3%A9%20na%20qualidade%20dos%20gr%C3%A3os).

BARBOSA FILHO, M. P.; CANTARELLA, H.; WIETHOLTER, S. Arroz, milho e trigo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. **CNPq FAPESP POTAFOS**, Jaboticabal. p. 285-318. 2001.

BARROS JÚNIOR, M.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; LUZ, P.H.C.; VITTI, G.C. Aplicação de manganês, zinco e aminoácidos via foliar na cultura de milho. In: **SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 9., 2001**, São Paulo. Agropecuária, Ciências Biológicas: resumos... São Paulo: USP, 2001.

BEN, R.J. **Adubação foliar na cultura da soja**. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, p.

13. 1983.

BENZING, D.H.; THENDERSON, K.; KESSEL, B.; SULAK, J. The absorptive capacities of bromeliad trichomes. **American Journal of Botany**, New York, v. 63, p. 1009-1014, 1976.

BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; CRUZ, A.P.; DAGHLIAN, C. Absorção de fósforo e enxofre pelas folhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, v.36, p.120-123, 1986.

BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A. (Coord.). **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, v. 2, 669 p. 1989

BRANDÃO, R.P. **Importância dos Aminoácidos na agricultura sustentável**. Informativo Bio Soja, São Joaquim da Barra, inf.5, p.6-8, 2007.

BRAKEMEIER, C. Adubação foliar: A complementação nutricional da macieira. **Jornal da Fruta**, Lajes, p. 7. 1999

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

BRANDÃO, R.P. **Importância dos Aminoácidos na agricultura sustentável**. Informativo Bio Soja, São Joaquim da Barra, inf.5, p.6-8, 2007.

BROCH, D. L.; PAVINATO P. S.; POSSENTI J. C.; MARTIN T. N.; QUIQUI E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p. 791-796, 2011.

CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Libreira e Editora Herba, p. 258. 1975.

CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, p. 256, 1990.

CANTOS NETO, B.L.; LUZ, P.H.; VITTI, G.C.; MARCHIORI, L.F.S. Aplicação de macronutrientes e aminoácidos na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP**, 9., 2001, São Paulo. Agropecuária, Ciências Biológicas: resumos... São Paulo: USP, 2001. 1 CD-ROM.

CASTOLDI, G., COSTA, M.S.S.M., COSTA, LAM, PIVETTA, LP, STEINER, F. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 139-146, 2011.

CASTRO, A.M.C.; BOARETTO, A.E. Adubação foliar do feijoeiro com nutrientes, vitamina B1 e metionina. **Sci. Agrar.**, Curitiba, v. 2, n. 1-2, p. 117-121, 2001.

CARVALHO, M. A. C. de; PAULINO, H. B.; FURLANI- JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E. de; ATHAYDE, M. L. F. de. Uso da adubação foliar nitrogenada e potássica no algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, 2001.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000.

CASTRO, P.R.C. Princípios da adubação foliar. Jaboticabal: FUNEP, 2009.42 p.

CASTRO, P.R.C.; GONÇALVES, M.R.; CATO, S.C. Efeitos da aplicação foliar de Codamin e de Brassinolide em feijoeiro. **Revista da Agricultura**, Piracicaba. v. 81, n. 1,p. 24-30, 2006.

CASTRO, P.R.C.; MACEDO, W.R.; LAMBAIS, G.R.; MANSANO, S. R. Ação anti-estresse de Flororgan em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* cv. Carioca). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL**, 13., 2011, Búzios. Resumos... Búzios: UENF, 2011. 1 CD-ROM.

CASTRO, P.R.C.; SERCILOTO, C.M.; PEREIRA, M.A.; RODRIGUES, J.L.M. **Utilização de fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ, DIBD, p. 71, 2008.

CIOTTI, C. S.; SANTOS, V. R.; CAVALCANTI, J. **Aplicação de um produto à base de aminoácido em trigo**. In: II Encontro de sustentabilidade em projeto do vale do Itajaí, 2008.

COLLI, S.; PURGATTO, E; Etileno. In: *Fisiologia Vegetal*; Kerbauy, G. B. Coord.; Editora Guanabara Koogan; 431 p.; 271-295, Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

Comissão de química e fertilidade do solo - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, p.400, 2004.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 17 jan. 2024.

CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P.L.; RODRIGUES, O.; Dei LUCA, L J. A; FIORINI, M. C.; SILVA, C. F. L. Bioclimatologia de trigos sul-brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 195-198, 1997.

DAPPER F. **Eficiência agrônômica de adubação foliar contendo aminoácidos na cultura da soja (*Glycine max (L.) merril*)**. Trabalho de conclusão de curso, 2016, 34p. (Bacharel em Agronomia com Ênfase em Agroecologia). Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo. 2016.

DE FREITAS, Ludmila et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

DELOUCHE, J.C. Metodologia de pesquisa em sementes. II. Secagem, beneficiamento e armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes, Brasília**, v. 3 p.2, 48-55, 1981.

DEUNER C. Rendimento e Qualidade de Sementes de Soja Produzida Sob diferentes Manejos Nutricionais. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n3, p.357-365, 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. Trad. Maria Edna Tenório Nunes Londrina: Editora Planta, p.86, 2006.

FACTOR, Thiago Leandro et al. Correção do solo e adubação. **Cebola do plantio a colheita**, v. 1, p. 58-77, 2018.

FAO. Crops. 2023. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

FAGAN, E. B.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; TEIXEIRA, W. F.; NETO, D. D. **Fisiologia da Produção de Soja**. I (Ed.). São Paulo: Andrei, p. 66-70. 2020.

FERREIRA, C. CARVALHO, F. C. **Utilização da adubação foliar na agricultura, Governo do estado de São Paulo Secretaria da Agricultura, Coordenadoria Sócio-Ecônômica Instituto de Economia Agrícola, relatório de pesquisa 07**, São Paulo, 1988.

FERREIRA, Magna Maria Macedo. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FIORINI, I.V.A. **Resposta da cultura do milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes**. 2011. p.70 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, MG. 2011.

FIORINI, Ivan Vilela Andrade et al. Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Brazilian Journal of Maize and Sorghum**, v. 15, n. 1, p. 20-29, 2016.

FLOSS, E. L.; FLOSS, L. G. **Fertilizantes organo minerais de última geração: funções fisiológicas e uso na agricultura**. Revista Plantio Direto, edição 100, julho/agosto de 2007. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br>. Acesso em: 05 jan. 2024.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; CATUCHI, T.A.; BELLEGGIA, N.A.; TIRITAN, C.S.; BARBOSA, A.M. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n.3, 2014.

FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. **Annual Review of Plant Physiology**. Boca Raton, v. 18, p. 281-300, 1967.

FRANKHAUSER, H.; BRUNOLD, C. Localization of adenosine 5'-phosphosulfate sulfotransferase in spinach leaves. *Planta*, 143:285-289, 1978

FREIRE, L. R. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Livro técnico** (INFOTECA-E), 2013

FURTINI NETO, A.E.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; SILVA, I.R.; ACCIOLY, A.M.A. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.567-573, 2000.

GAMBAUDO S., FONTANETTO H., KUCHEN M. G. **Fertilización de colza con nitrógeno y azufre en la región central de santa fe**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. **Publicación miscelánea n° 109**. Santa Fe, Argentina. p. 93-100. 2008.

GARCÍA, F.O.; BERARDO, A. Trigo. In: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. **Balcarce: Ediciones INTA**. p. 233-253. 2005

GARCIA, R.L.; HANWAY, J.S. **Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period**. Madison: American Society of Agronomy, 653p. 1976.

GARCÍA, Ginés Navarro; NAVARRO GARCÍA, Simon. **Fertilizantes: química e ação**. Ediciones Paraninfo, SA, 2014.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendação da adubação. In: SILVA, L. S. da; GATIBONI, L. C. (Org.). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11 ed. Frederico Westphalen: SBCS-NRS, p. 89-99. 2016.

GAZOLA D. ; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; FONSECA, I. C. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.700-707, 2014.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R. Aplicação foliar de aminoácidos como suplemento à adubação nitrogenada em cultivares de trigo. **Científica**, Jaboticabal, v. 45, n. 2, p.182-189, 2017.

GÓMEZ-GUILLÉN, María C.; GIMÉNEZ, Begoña; LÓPEZ-CABALLERO, María E.; MONTERO, M. Pilar. Functional and Bioactive Properties of Collagen and Gelatin from Alternative Sources: A review. **Food Hydrocolloids**, Madrid, v. 25, p. 1813-1827, 2011.

GUERRA, Wellington EX. **Fertilidade do solo**. Presidente Prudente-SP: GPAGRO, 2015.

HANSEN, J.A.; KNABE, D.A.; BURGOON, K.G. Amino acid supplementation of low protein sorghumsoybean meal diets for 20 to 50 kilogram swine. **J. Anim. Sci.**, v.71, p.442-451, 1993.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 116-119, 1973.

HENZ, G. Trigo Bronzeado. Grandes Culturas. **Revista Cultivar**, nº 113, outubro, 2008.

HOLFORD, I.C.R. Effects of lime on phosphate sorption characteristics, and exchangeable and soluble phosphate in fifteen acid soils. **Australian Journal Soil Research**, v.21, p.333-342, 1983.

HOROWITZ, N. Enxofre em plantas cultivadas no Brasil. **Revista Plantio Direto**, n.127. p.31-35. 2012.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agrônômica do S elementar em solos do Brasil**. p.109 Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p. 822-828, 2006.

HSU, H.H. The absorption and distribution of Metalosates from foliar fertilization. In: ASHMEAD, H.D.; ASHMEAD, H.H.; MILLER, G.W.; HSU, H.H. (Ed.). Foliar feeding of plants with amino acid chelates. **Park Ridge**: Noyes Publications, p. 45-61. 1986.

HU, H.; SPARKS, D. Nitrogen and sulfur interaction influences net photosynthesis and vegetative growth of Pecan. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, p.59-64, 1992.

JAHAN, S.; IQBAL, S.; JABEEN, K.; SADAF, S.; Ameliorating influence of sulfur on germination attributes of canola (*Brassica napus* L.) under chromium stress. **Journal of Botany**, Pakistan, v.47. p.407-411. 2015.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Measurement of sulfur oxidation in soils, **Soil Science**: June 1987 – V. 143-6 – p. 444-452. 1987.

JOLIVET, P.; BERGERON, E.; ZIMIERSKI, A.; MEUNIER, J.C. Metabolism of elemental sulphur and oxidation of sulphite by wheat and spinach chloroplasts. **Phytochemistry**, v.38, p.9-14, 1995.

JOMORI M. L. L.; SASAKI F. F. C.; BERNO N. D.; GIMENES L. C.; KLUGE R. A. Desverdecimento e armazenamento refrigerado de tangor 'Murcott' em função de concentração e tempo de exposição ao etileno. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR, v. 35, n. 2, p. 825-834, 2014.

KABIR, A.; KIM, W.; WANG, H. W.; YAO, Q.; KWON, H.; KARUPPANAPANDIAN, T. Sulfur fertilization influence on growth and yield traits of three Korean soybean varieties. **International Journal of Agriculture System**, v.4, n.1, p.1-12, 2016.

KETTLEWELL, P. S.; GRIFFITHS, M. W.; HOCKING, T. J.; WALLINGTON, D. J.

Dependence of Wheat Dough Extensibility on Flour Sulphur and Nitrogen Concentrations and the Influence of Foliar-Applied Sulphur and Nitrogen Fertilisers. **Journal of Cereal Science**. [S.l.] v. 28, p. 15-23, 1998.

KIELING, D. D.; **ENZIMAS: Aspectos gerais**. Trabalho apresentado ao curso de engenharia bioquímica, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC, 2002.

KIKUTI, H.; TANAKA, R. T. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em função da aplicação de aminoácidos e nutrientes. In: **Congresso nacional de pesquisa de feijão**, Goiânia, 2005.

KLEIMAN, A. O conhecimento prévio na leitura. In: KLEIMAN, A. **Aspectos Cognitivos da Leitura**. Campinas, SP: Pontes, p. 13-27, 1992

KLIEMANN, H. J.; MALAVOLTA, E. DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS: AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE ENXOFRE NAS PLANTAS. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 24, n. 1, p. 17–35, 2007.

KOUGUCHI, T.; ZHANG, Y.; SATO, M.; TAKAHATA, Y.; MORIMATSU, F. Chicken Collagen Hydrolysate. In: Vasoprotective Effect of Foods as Treatments. **Atherogenesis**. Japan: Nippon Meat Packers, Inc., R & D Center, p.557-570, 2012.

KLUGE, Ricardo Alfredo et al. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

KREUZ, C. L. et al. Modificação nas funções de produção Von Liebig. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 32, n. 2, p. 193-218, 2020.

KUMAR, Vimal et al. Resposta fisiológica das plantas C3, C4 e CAM em clima mutável. **A Pharma Innovation**, v. 6, n. 9, Parte B, p. 70, 2017

LAEGREID, M.; BOCKMAN, O. c, KAARSTAD, O. Agriculture, fertilizers and environment. **Cambridge**: CABI Publishing, .294 p. 1999.

LAMBAIS G. R. **Aminoácidos como coadjuvantes da adubação foliar e do uso de glifosato na cultura da soja**. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em ciências). Universidade de São Paulo Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2011.

LANDRY, J.; LEGRIS-DELAPORTE, S.; FERRON, F. Foliar application of elemental sulphur on metabolism of sulphur and nitrogen compounds in leaves of sulphurdeficient wheat. *Phytochemistry*. **Great Britain**, v. 30, n. 3, p. 729-732, 1991.

LARGE, E.C. Growth stages in cereais. **Plant Pathology**, London, v. 3, n. 4, p. 128-129, 1954.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. Oficina de textos, 2016.

LEGRIS-DELAPORTE, S.; FERRON, F.; LANDRY, J.; COSTES, C. Metabolization of

elemental sulfur in wheat leaves consecutive to its foliar application. **Plant Physiology**, v.85, p.1026-1030, 1987.

LIMA M. G. S. et al. Avaliação bioquímica de plantas de milho pulverizadas com uréia isolada e em associação com aminoácidos. **Revista Ceres**, p 358-363, 2009

LINELY, E A. S., NEWELL, R. C., LUCAS, M I. Quantitative relationship between phytoplankton, bacteria and hetero- trophic microflagellates in shelf waters. **Mar. Ecol. Prog.** v.12, p.77-89, 1983.

LOTT, W. L; McLUNG, A. C.; MEDCALF, J. C. **Deficiência de enxofre no cafeeiro.** New York: IBEC Research Institute, 19 p. (IBEC. Boletim Técnico, 32) 1960.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola.** Fertilidade do solo, p. 2-64, 2007.

LUCAS F. T; COUTINHO E. L. M ; PAES J. M. V; BARBOSA J. C: Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, s.1, p. 3205-3218, 2013.

MALAVOLTA, E.Potássio, Mg e S nos solos e culturas brasileiras -4. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1979. 92p. (Boletim Técnico, 4).

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

MALAVOLTA, E. Nutri-Fatos: Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas. **POTAFOS**, Piracicaba. 24p. 1996.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **POTAFOS**, Piracicaba, 2ed. p.319, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.** 201p 1989.

MALAVOLTA, E; MORAES, M.F.; LAVRES JUNIOR, J.: MALAVOLTA, Micronutrientes e metais pesados - essencialidade e toxidez. In: PATERNIANI, E. **Ciência, apicultura e sociedade.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. cap. 4, p.117-154. 2006.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Nickel - from toxic to essential nutrient. **Better Crops**, Norcross, v.91, n.3, p.26-27, 2007.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: **Internacional Plant Nutrition Institute.** p.722, 2007.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** Piracicaba:

FEALQ, 2005.

MARSHNER, H. **Nutrição Mineral de Plantas Superiores**. Imprensa Acadêmica, Londres. 1986.

MAPA. Instrução normativa nº 61, de 8 de Julho de 2020. **Diário Oficial da União**: seção 1, ed. 134, Brasília, DF, p. 5, 15 de jul 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Acesso em: 15 de mar. 2023.

MAYER W. R. **Produtividade e qualidade de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetido a diferentes doses de enxofre elementar (S⁰)**. Trabalho de conclusão de curso de graduação, 2014 (Bacharel em Agronomia), Universidade Federal da Fronteira Sul. Laranjeiras do Sul. 2014.

McGRATH, S.P.; ZHAO, F.J. Sulfur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). **Journal Agricultural Science**, v.126, p.53-62, 1996.

MELO, W.J.; FORNASIERI FILHO, D.; VITTI, G.C. Efeito de um ativador biológico à base de cisteína sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 159-167, 1983.

MENDES L. A; LANDGRAF M. D.; REZENDE M. O. O; Substâncias húmicas liberam nutrientes retidos no solo. **Revista Campo e Negócios**, 2014.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern, Intern. Potash Institute, p.687. 1987.

MEROTTO JR. A. et al. Efeitos do Herbicida Glifosato e da Aplicação Foliar de Micronutrientes em Soja Transgênica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 499- 508, 2015.

MEZIAT, A.; VIEIRA, R.C.M.T. Política de desenvolvimento produtivo e sua extensão à cadeia produtiva do trigo. In: CUNHA, G.R. **Oficina Sobre o Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.129, 2009.

MIRANDA, G. M. **Trigo nacional: do protecionismo ao Mercosul**. Londrina: Iapar, 24p. 1994.

MITCHELL, M.A.; KETTLEWELL, P.J. Physiological stress and welfare of broiler chickens in transit: solutions not problems, **Poultry Science**, v.77, p.1803-1814, 1998.

MOREIRA, Catarina. Fotossíntese. **Revista de Ciência Elementar**, v. 1, n. 1, 2013.

MOTA, F.S.; GOEDERT, C. O. Características bioclimáticas dos trigos sul-brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 4, p. 79-87, 1969.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto

Alegre: Ed. Autor, p.228, 1999.

NANNI, G. S. S. C.; BUENO, C. E. Influencia de fertilizante foliar com aminoácidos na cultura do tomate em cultivo protegido. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 32. 2017.

NELSON, C.D.; GORHAM, P.R. Translocation of ¹⁴C-labeled amino acids and amides in the stems of young soybean plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 37, p. 431-438, 1959.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2014

NERSON, H.; SIBONY, M.; PINTHUS, J. M. A scale for the assessment of the developmental stage of the wheat spike. **Annals of Botany**, London, v. 45, n. 2, p. 203-204, 1980.

NYMAN, L.P.; DAVIES, J.P.; O'DELL, S.L.; ARDITTI, J.; STEPHENS, G.C.; BENZIG, D.H. Active uptake of amino acids by leaves of an epiphytic vascular plant, *Tillandsia paucifolia* (Bromeliaceae). **Plant Physiology, Bethesda**, v. 83, n. 3, p. 681-684, 1987.

OLIVEIRA, A.P.; ALVES, E.U.; BRUNO, R.L.A.; SADER, R., ALVES, A.U. Produção e qualidade fisiológica de sementes de coentro em função de doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Sementes*, v.28 p.193-198, 2006.

OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. **Potafos**, Piracicaba, p.301-52. 1996.

OLIVEIRA, A.P.; PEREIRA, E.L.; BRUNO, R.L.A.; ALVES, E.U.; COSTA, R.F.; LEAL, F.R.F. Produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem em função de fontes e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Sementes*, v.25, p.49-55, 2003.

OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral do feijoeiro. In: ZIMMERMANN, M.J. et al. (Ed.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: **Potafós**. p. 175-212. 1988.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. **Análise química do solo e recomendação de adubação**. In: ORLANDO FILHO, J. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool: Planalsucar, p.155-178. 1983.

OSÓRIO FILHO B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta da cultura á adubação sulfatada**. Dissertação de mestrado em ciências do solo, Santa Maria-RS, Brasil, 2006.

PANDOLFO, C. M.; DA VEIGA, M.; SPAGNOLLO, E.. Macro e micronutrientes no solo em lavouras amostradas no estado de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 1, p. 7-16, 2012.

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e interpretações**. 2.ed. Castro, Fundação ABC, p. 86, 2004.

PASCALE, A J.; MOTA, F.S. Aspectos bioclimáticos da cultura do trigo no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 1, p. 123-140, 1966.

PICOLLI, E. S.; MARCHIORO, V. S.; BELLAVER, A.; BELLAVER, A. Aplicação de produtos à base de aminoácidos na cultura do trigo. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n.4, p. 141-148, 2009.

POTAFÓS. **Seja o doutor da sua soja**. Piracicaba, p.6 (Informações Agronômicas, 66). 1994.

POTAFÓS. Manual internacional de fertilidade do solo. 2ed. Piracicaba, Potafos. 177p. 1996.

PRESTES et al. Caracterização da fibra de colágeno, gelatina e colágeno hidrolisado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 15, n. 4, p. 375-382, 2013.

RAIJ, B.; Quaggio, J.A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Campinas; Instituto Agronômico, p.1-31. (Boletim Técnico, 81). 1983.

POPPER, L; SCHÄFER, W.; FREUND, W. Future of Flour – **A Compendium of Flour Improvement**. Kansas City: Agrimedia, p. 325, 2006.

RAMACHANDRAN, **Gopalamudran N. Treatise on collagen: Chemistry of Collagen**. University of Madras, India, v. 1, 1967.

REITZ, L. P Wold distribution and importance of wheat. In: QUINSBERRY, K.S (ad). Wheat and wheat improvement. Madison: **American Society of Agronomy**. p. 1-18. (Agronomy,13). 1967.

RENNENBERG, H. The fate of excess sulfur in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol., San Diego, n. 35, p. 121-153, 1984.

REZENDE P. M., CARVALHO E. R., SANTOS J. P., Andrade M. J. B., ALCANTRA H. P., Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 33, n. 5, p. 1255-1259, 2009.

RINGLI, C.; KELLER, B.; RYSER, U. Glycine-rich proteins a structural components of plant cell walls. **Cellular and Molecular Life Science**, v. 58, p. 1430 – 1441, 2001.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. In: CUNHA, G. R. da; BACALTCHUK, B. (Org.). Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul - Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo**; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 120-155. (Série culturas, 2).

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; ROMAN, E. S. **Modelo para previsão de estádios de desenvolvimento em trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo.** p.11 p. html. (Embrapa Trigo. Circular técnica online, 5). Disponível em: < http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci05.htm>. 2001.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 6, p. 817-825, 2007.

RODRIGUES, O.; MARCHESE, J. A; VARGAS, L.; VELLOSO, J. A. O.; RODRIGUES, R.de C. S. Efeito da aplicação de herbicida hormonal em diferentes estádios de desenvolvimento de trigo (*Triticum aestivum* L. Cvs. Embrapa 16 e BR 23). **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo, n. 1, p. 19-29, 2006.

Kreuz ROSOLÉM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro.** Piracicaba: POTAFOS, 1987. 93p.

ROSOLÉM, C. A.; BOARETTO, A. E. **Adubação foliar. In: Simpósio Brasileiro de adubação foliar**, 2., 1987, Botucatu, SP. Anais... Campinas: Fundação Cargill, v. 2, p. 513-545. 1989.

ROSOLÉM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. **Seja o doutor do seu feijoeiro.** Informações Agrônômicas, Piracicaba, v.68, p.1-16, 1994.

ROSOLÉM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIAO, S.R. Root morphology and potassium supply to pearl millet roots as affected by soil water and potassium contents. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n. 5, p. 875-884, 2003.

RUSSO, R.O; BERLYN, G.P. The use of organica biostimulants to help low input sustainable agriculture. **J. Sustain. Agric.**, Binghamton, v.1, n.2, p. 19-42, 1990.

RONQUIM, Carlos César. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECAE), 2010.

RATES, F. B. S.; GONÇALVES C. dos S.; SAMPAIO L. R. A. JÚNIO D. da S. B.; FERNANDES L. A.; JUNIOR G. R. Z. Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, p. 207-213, 2012.

SÁ, M.E. Importância da adubação na qualidade de sementes. In: SÁ M.E.; BUZZETI S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas.** São Paulo: Ícone. p. 65-98. 1994

SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos associados a sistemas agroflorestais: implicações no planejamento e manejo em regiões tropicais. In: **Congresso brasileiro sobre ecossistemas agroflorestais**, 1., 1994, Porto Velho. Anais..., Colombo: Embrapa-CNPQ, p.391-431. (Documentos, 27). 1994.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992.

SANTOS, C.M.G.; VIEIRA, E.L. Efeito de bioestimulante na germinação de grãos, vigor de plântulas e crescimento inicial do algodoeiro. **Magistra**, v.17, p.124-130, 2005.

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de; CAIERAO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BOREM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV. Cap. 2, p. 35-55. 2015.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Trigo: Características e Utilização na Panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F. **Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. Londrina: Embrapa Soja. 6 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 53). 2007

SERCILOTO, C.M.; CASTRO, P.R.C. **Interações entre diferentes substâncias aplicadas às plantas de feijoeiro e o glifosato**. Piracicaba: ESALQ, CODA. 40 p. (Relatório Técnico), 2005.

SPINOLA, M.C.M.; CÍCERO, S.M. Qualidades física e fisiológica de sementes de amendoim submetidas a gesso agrícola: I. Área com calagem. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 57 n. 1, p. 113-119, 2000.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações, modificações**. Editora e Livraria Varela, São Paulo, SP. 1996.

SILVA, J. R.; FERREIRA, C. R. R. P. T.; NOGUEIRA JUNIOR, S. Padrão sazonal de preços de trigo: São Paulo, Paraná, Estados Unidos e Argentina. **Informações Econômicas**, SP, v.34, n.3, mar. 2004.

SILVA, D. J.; VENEGAS, V. H. A; RUIZ, H. A. Transporte de enxofre para as raízes de soja em três solos de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1161-1167, 2002.

SILVA, D. J.; VENEGAS, V. H. A. ; RUIZ, H. A. Transporte de enxofre para as raízes de soja em três solos de Minas Gerais. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, vol.37, n.8, pp.1161-1167. 2002.

SIMÕES, G. S. **Aproveitamento de Subproduto de Frigoríficos: Extração, isolamento e caracterização de colágenos de túnica albugínea de suínos imunocastrados**. 119f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

SLAFER, G. A.; MIRALLES, D. J. Fruiting efficiency in three bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars released at different eras. Number of grain per spike and grain

weight. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Oxford, v. 170, n. 4, p. 251 - 260,1993.

SLAFER,G. A.; RAWSON, H. M. Sensitivity of what phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by phhysiologist and modelleres. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 21, n. 4, p. 393-426,1994.

SNYDER, C.S. **Adubação foliar nitrogenada e potássica em algodão**. Informações Agronômicas, Potafós, v.83, p.1-4, 1998.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 147-168. 2004.

STIPP, S.R.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI. 14-20p. (Informações Agronomicas Nº 129). 2010.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre, p.888, 2017.

TAKEITI, C. Y. **Trigo. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2015.

TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 421-425, 2007.

TEIXEIRA, I.R.; BORÉM A.; ARAÚJO G. A. de A; DE ANDRADE M. J. B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 83-88, 2005.

TEIXEIRA I. R.; BORÉM A.; DE ANDRADE ARAÚJO G. A.; DE ANDRADE M. J. B.; Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.83-88, 2005.

TEIXEIRA, W. F. **Avaliação do uso de aminoácidos na cultura da soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba, p. 158, 2016.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TIECHER T., DOS SANTOS D. R., ALVAZER J. W. R., MALLMANN F. J. K., PICCIN R., BRUNETTO G. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 60, n.3, p. 420-427, mai/jun, 2013.

TOTTMAN, D. R.; BROAD, H. The decimal code for the growth-stages of cereais, with illustrations. *Annals of Applied Biology*, Cambridge, v. 110, n. 2, p. 44 1-454,

1987

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; BENIN, G.; SOUZA, V. Q.; MACHADO, A. A.; BERTAN, I.; BUSATO, C. C.; SILVEIRA, G.; FONSECA, D. A. R. Seeding density in wheat genotypes as a function of tillering potential. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 28-39, 2009.

VIEIRA, R.D. **Avaliação do efeito de níveis de alguns nutrientes na composição química e na qualidade de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 1985. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

VIEIRA, R.D. et al. Efeito da aplicação de calcário e gesso na qualidade de sementes de amendoim. **Rev. Bras. Sementes, Brasília**, v. 8, n. 2, p. 99-108, 1986.

VIEIRA, R.D. **Avaliação do efeito de níveis de alguns nutrientes na composição química e na qualidade de sementes de soja (Glycine mar (L.) Merrill)**. Vicosa, Universidade Federal de Viçosa. 156p. Tese Doutorado. 1985.

VIEIRA, R.D. et al. Efeito da aplicação de calcário e gesso na qualidade de sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 99-108, 1986.

VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; FERREIRA, M.E.; RAGAZZI, D.; HING, L.T. Efeito de doses de gesso na cultura do feijoeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.57, n.2, p.119- 132, 1982

VITTI, G.C; HEIRINCHS, R. **Formas tradicionais e alternativas de obtenção e reutilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística**. In: YAMADA, T; ABDALLA, R.S; VITTI, G. C. (Eds.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI. p. 109-160. 2007

SUNDAR, V. J. et al. Recovery and Utilization of Proteinous Wastes of Leather Making: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 10, p. 151-163, oct. 2010.

WHITECHURCH, E. M.; SLAFER, G. A Responses to photoperiod before and after jointing in wheat substitution lines. **Euphytica**, Wageningen, v. 118, n.1, p.47-51, 2001.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**, 2011.

WITWERT, S.H.; BUKOVAC, M.J.; TUKEY, H.B. Advances in foliar feeding of plant nutrients. In: McVICKAR, M.H.; BRIDGER, G.L.; NELSON, L.B. (Ed.). Fertilizer technology and usage. **Madison: American Society of Agronomy**, p.429-455. 1963.

WITWERT, S.H.; TEUBNER, F.G., 1959. Foliar absorption of mineral nutrients.

Ann..**Rev. Plant. Physiol.** v.10, p.13-32. 1959.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E.; **Biossíntese de etileno e sua regulação em plantas superiores.** Revisão Anual de Fisiologia Vegetal, 35, 155-189. 1984.

ZADOKS, J. c, CHANG, T.T.; KONZAK, C. F.A decimal code for the growth stages of cereais. **Weed Research**, Oxford, v. 14, n. 6, p. 415- 421, 1974.

ZHANG, Z.; LI, G.; SHI, B. Physicochemical Properties of Collagen, Gelatin and Hidrolysate Derived from Bovine Limed Split Wastes. **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 90, p. 23-28, 2005.

ZHAO, J. Y.; SHIMOJO, M.; GOTO, I., The effects of feeding level an roughage/concentrate ratio on the measurement of protein degradability of two tropical forages in the rumen of goats, using the nylon bag technique. **Anim. Feed Sci. Technol.**, 41 (4): 261-269 1993.