



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRÉ PRECHLAK BARBOSA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO E PRODUTIVO DO MILHO
EM RESPOSTA AO ARRANJO DE PLANTAS ASSOCIADO A
ADUBAÇÃO NITROGENADA E REGULADOR DE
CRESCIMENTO**

Londrina
2020

ANDRÉ PRECHLAK BARBOSA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO E PRODUTIVO DO MILHO
EM RESPOSTA AO ARRANJO DE PLANTAS ASSOCIADO A
ADUBAÇÃO NITROGENADA E REGULADOR DE
CRESCIMENTO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina
2020

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

- 238 Barbosa, André Prechlak .
Desempenho fisiológico e produtivo do milho em resposta ao arranjo de plantas associado a adubação nitrogenada e regulador de crescimento / André Prechlak Barbosa. - Londrina, 2020.
130 f.
- Orientador: Claudemir Zucareli.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.
Inclui bibliografia.
1. Densidade de plantas - Tese. 2. Adubação nitrogenada - Tese. 3. Trínexapaque-etílico - Tese. 4. Zea mays L. - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ANDRÉ PRECHLAK BARBOSA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO E PRODUTIVO DO MILHO
EM RESPOSTA AO ARRANJO DE PLANTAS ASSOCIADO A
ADUBAÇÃO NITROGENADA E REGULADOR DE
CRESCIMENTO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. André Mateus Prando
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
EMBRAPA

Dr. Luiz Fernando Pricinotto
Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do
Estado do Paraná - SEAB/PR

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Mato Grosso do Sul – IFMS

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 28 de abril de 2020

A DEUS, pois ELE permitiu que eu chegasse até aqui e tudo tem se realizado pela sua misericórdia em minha vida. A minha amada esposa e ao meu filho maravilhoso pelo apoio incondicional, à toda minha família, amigos, e aos colegas de trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS, pois sem ELE eu jamais teria chego aqui. “PAI, obrigado pela Sua constante presença em minha vida, pela Sua infinita misericórdia e graça que me acompanham e acompanharão para sempre. Obrigado experiências que me fazem ser quem sou hoje e que me lapidam para ser alguém melhor dia a dia”.

A Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade. Ao Departamento de Ciências Agrárias por fornecer a estrutura e o conhecimento de seus docentes para o curso de doutorado em agronomia.

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

Ao meu orientador prof. Dr. Claudemir Zucareli, obrigado por toda orientação e pela amizade. O considero um exemplo de profissional e de pessoa. DEUS o abençoe sempre.

A minha maravilhosa esposa Érica e ao meu filho Oliver, presentes que DEUS me deu, vocês fazem parte desta conquista, obrigado por tornarem minha caminhada mais leve e feliz todos os dias. Sou infinitamente agradecido a DEUS por ter vocês na minha vida. Eu amo muito vocês.

A toda minha família, que sempre me apoiou na minha formação. Sem o apoio e o amor de vocês eu não teria finalizado essa etapa tão valiosa. Obrigado! Saibam que os AMO Muito.

Aos colegas da Pós-graduação e graduação em agronomia, pela disposição em ajudar e por todos as experiências proporcionadas. Vocês tornaram essa realização possível!

A todos os colaboradores da UEL que de alguma forma contribuíram com a realização do trabalho, com constante disposição.

À todos que, de alguma forma, ajudaram e que não mencionei, mas que sabem da importância na minha vida e nesse trabalho, obrigado!

BARBOSA, André Prechlak. **Desempenho fisiológico e produtivo do milho em resposta ao arranjo de plantas associado a adubação nitrogenada e regulador de crescimento**. 2020. 130 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2020.

RESUMO

As técnicas de manejo atualmente utilizadas na cultura do milho influenciam o equilíbrio fonte-dreno das plantas, com efeitos diretos sobre a produtividade de grãos por planta e por área. O adensamento das lavouras e as maiores adubações, em especial a nitrogenada, têm contribuído para mudanças na arquitetura das plantas que podem ficar mais propensas a estiolamento, tombamento e autossombreamento. Os redutores de crescimento vegetal podem mitigar esses efeitos negativos, com alterações na arquitetura das plantas, melhor distribuição de fotoassimilados, maior resposta às outras técnicas de manejo e maior estabilidade na produção de grãos. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o uso de trinexapaque-etílico em diferentes doses e épocas de aplicação, associado a elevadas densidades de plantas e doses de nitrogênio em cobertura, sobre o desempenho morfológico, bioquímico e fisiológico das plantas de milho, e seu reflexo nos componentes produtivos e produtividade de grãos da cultura. Foram conduzidos dois experimentos a campo, com delineamento experimental de blocos casualizados. O primeiro experimento em esquema fatorial 2×5 , com 4 repetições. Sendo 2 (com e sem aplicação do trinexapaque-etílico) e 5 (doses de nitrogênio em cobertura 100; 150; 200; 250 e 300 kg ha⁻¹ de N) conduzido em dois locais (quais?) de cultivo. O segundo experimento, em esquema fatorial 4×6 , com 4 repetições, sendo os fatores experimentais: quatro densidades de plantas (70, 90, 110 e 130 mil plantas ha⁻¹) e seis manejos de aplicações do redutor de crescimento trinexapaque-etílico (controle sem aplicação; V6; V9; V12; V6+V9 e V6+V9+V12), esse foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), em duas safras agrícolas. Foram avaliadas as seguintes características em ambos experimentos: altura de plantas, altura de inserção de espiga, diâmetro de colmo, índice de área foliar, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos, índice de colheita aparente, produtividade de grãos, teor de proteínas solúveis, teor de pigmentos fotossintetizantes e condutância estomática. Todos os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, para determinar a normalidade e homogeneidade. Em seguida, foi realizada a análise de variância e quando verificada significância, os fatores qualitativos (redutor de crescimento e épocas de aplicação do redutor de crescimento) foram comparados por teste F e teste de Tukey, respectivamente. Os fatores quantitativos (densidade de plantas e doses de nitrogênio em cobertura), foram submetidos ao estudo de regressão até segundo grau, todos os testes a 5% de probabilidade de erro. O desempenho agrônomico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento e das doses de nitrogênio em cobertura, para os dois locais de cultivo. Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapaque-etílico e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos. O emprego do redutor de crescimento permite o uso de doses de nitrogênio em cobertura em torno de 220 kg ha⁻¹ sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho para o cultivo em Londrina. Para a condição sem aplicação de redutor de crescimento, em ambos os locais, a adubação nitrogenada favoreceu a produtividade de grãos até cerca de 165 kg ha⁻¹ de N. A produtividade de grãos é correlacionada positivamente com os componentes de rendimento e esses dependem do equilíbrio entre crescimento da planta e formação de estruturas

reprodutivas. O desempenho agrônômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento nas diferentes fases de desenvolvimento do milho e pela alteração na densidade de plantas, para a segunda safra (pode confundir com safrinha) analisada. Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapaque-etílico em diferentes estádios fenológicos das plantas e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos para fases como V9 e V12. O emprego do redutor de crescimento entre V9 e V12, permite o uso de densidades de plantas maiores, de 90.000 a 130.000 plantas por hectare sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho. Os teores de pigmentos fotossintetizantes e proteínas solúveis são alterados pelo uso do redutor de crescimento nas diferentes épocas de aplicação e usos sequenciais e são menos afetados pela densidade de plantas. Há redução da condutância estomática em resposta ao uso de trinexapaque-etílico e incremento da densidade de plantas.

Palavras-chave: densidade de plantas; nitrogênio; trinexapaque-etílico; *Zea mays* L.

BARBOSA, André Prechlak. **Physiological and productive performance of maize in response to plant arrangement associated with nitrogen fertilization and growth regulator**. 2020. 130 p. Doctoral Thesis in Agronomy - Londrina State University, Londrina-PR, 2020.

ABSTRACT

The management techniques currently used in maize culture influence the source-drain balance of plants, with direct effects on grain yield per plant and per area. The densification of crops and greater fertilization, especially nitrogen, have contributed to changes in the architecture of plants that may be more prone to stagnation, tipping and self-shading. Plant growth reducers can mitigate these negative effects, with changes in plant architecture, better distribution of photoassimilates, greater response to other management techniques and greater stability in grain production. Thus, this study aimed to evaluate the use of trinexapac-ethyl in different doses and times of application, associated with high plant densities and nitrogen coverage levels, on the morphological, biochemical and physiological performance of corn plants, and its reflection on the productive components and grain productivity of the crop. Two field experiments were carried out, with a randomized block design. The first experiment in a 2 x 5 factorial scheme, with 4 repetitions. Two (with and without application of trinexapac-ethyl) and five (nitrogen doses in coverage 100; 150; 200; 250 and 300 kg ha⁻¹ of N) conducted in two cultivation sites. The second experiment, in a 4 x 6 factorial scheme, with 4 repetitions, being the experimental factors: four plant densities (70, 90, 110 and 130 thousand plants ha⁻¹) and six applications of the trinexapac-ethyl growth reducer (control without application; V6; V9; V12, V6 + V9 and V6 + V9 + V12), this was conducted at the School Farm of the State University of Londrina (UEL), in two agricultural harvests. The following characteristics were evaluated in both experiments: plant height, height of ear insertion, stem diameter, leaf area index, number of rows per ear, number of grains per row, number of grains per ear, mass of a thousand grains, apparent harvest index, grain yield, soluble protein content, photosynthetic pigment content and stomatal conductance. All data were submitted to the Shapiro-Wilk and Bartlett tests, to determine normality and homogeneity. Then, the analysis of variance was performed and when the significance was verified, the qualitative factors (growth reducer and times of application of the growth reducer) were compared by F test and Tukey test, respectively. Quantitative factors (plant density and nitrogen coverage) were subjected to regression study up to the second degree, all tests at 5% probability of error. The agronomic performance of corn is altered by the use of growth reducer and nitrogen coverage levels, for both cultivation sites. There is less vegetative growth of corn plants due to the use of trinexapac-ethyl and this reflects positively on the performance of the components of grain yield and productivity. The use of the growth reducer allows the use of doses of about 220 kg ha⁻¹ of nitrogen in coverage without the negative effect of the excessive vegetative growth of the corn plants for cultivation in Londrina. For the condition without application of growth reducer, in both places, nitrogen fertilization favored grain yield up to about 165 kg ha⁻¹ of N. Grain productivity is positively correlated with yield components and these depend on the balance between plant growth and formation of reproductive structures. The agronomic performance of corn is altered by the use of the growth reducer in the different stages of corn development and by the change in plant density, for the second analyzed crop. There is less vegetative growth of corn plants due to the use of trinexapac-ethyl at different phenological stages of the plants and this reflects positively on the performance of the components of grain yield and productivity for phases

such as V9 and V12. The use of the growth reducer between V9 and V12, allows the use of higher plant densities, about 90,000 to 130,000 plants per hectare without the negative effect of excessive vegetative growth of corn plants. The levels of photosynthetic pigments and soluble proteins are altered by the use of the growth reducer at different times of application and sequential uses and are less affected by plant density. There is a reduction in stomatal conductance in response to the use of trinexapac-ethyl and an increase in plant density.

Keywords: plant density; nitrogen; trinexapac-ethyl; *Zea mays* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Revisão da literatura

Figura 2.4.1 – Esquema da rota de biossíntese das giberelinas e a relação de reguladores de crescimento que atuam em cada fase. Kerbauy, 2004. 36

Artigo A

Figura 3.1 – Disponibilidade hídrica (excesso hídrico - EXC e deficiência hídrica - DEF), precipitação, temperatura do ar (máxima – T máx e mínima T mín) durante a condução dos experimentos (novembro de 2016 a fevereiro de 2017) em Londrina (a e c) e Faxinal (b e d), respectivamente.. 62

Figura 3.2 – Desdobramento da interação para índice de área foliar (a), condutância estomática das folhas (b) e número de fileiras por espiga (c) de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR..... 70

Figura 3.3 – Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos de milho em resposta a trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR. 72

Figura 3.4 – Correlação de Pearson para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR..... 73

Figura 3.5 – Valores médios de número de grãos por fileira (a) e peso da massa de mil grãos (b) de milho em resposta as doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR. 77

Figura 3.6 – Desdobramento da interação para índice de área foliar (a), diâmetro de colmo (b), condutância estomática das folhas (c) e número de fileiras por espiga (d) de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR..... 78

Figura 3.7 –	Desdobramento da interação para produtividade de grãos de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.	80
Figura 3.8 –	Correlação de Pearson para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.	81

Artigo B

Figura 4.1 –	Precipitação, temperatura do ar (máxima – T máx e mínima T mín) durante a condução dos experimentos em Londrina nos anos agrícolas 2015/16 (a) e 2016/17 (b), respectivamente.....	90
Figura 4.2 –	Altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.....	99
Figura 4.3 –	Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.....	101
Figura 4.4 –	Desdobramento da interação significativa para altura de plantas (a b) e altura de inserção de espiga (c) e diâmetro de colmo (d) em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	106
Figura 4.5 –	Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	108
Figura 4.6 –	Desdobramento da interação significativa para índice de colheita em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	110
Figura 4.7 –	Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos em resposta a fase de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	113
Figura 4.8 –	Desdobramento da interação significativa para condutância estomática de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.....	118

LISTA DE TABELAS

Artigo A

- Tabela 3.1** – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em função do uso de trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura para Faxinal-PR. 66
- Tabela 3.2** – Valores médios de características fitométricas e componentes de produção de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico em Faxinal-PR.. 67
- Tabela 3.3** – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em função do uso de trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura para Londrina-PR..... 75
- Tabela 3.4** – Valores médios de características fitométricas e componentes de produção de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico em Londrina-PR..... 76

Artigo B

- Tabela 4.1** – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de grãos de milho em função das épocas de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1..... 96
- Tabela 4.2** – Altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AIE), índice de colheita (IC), diâmetro de colmo (DC) número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PROD), em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1 98
- Tabela 4.3** – Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1 100
- Tabela 4.4** – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de grãos de milho em

	função da época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	102
Tabela 4.5	– Desdobramento da interação significativa para altura de plantas em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra.....	103
Tabela 4.6	– Desdobramento da interação significativa para altura de inserção de espigas em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra	104
Tabela 4.7	– Desdobramento da interação significativa para diâmetro de colmo em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	105
Tabela 4.8	– Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	107
Tabela 4.9	– Desdobramento da interação significativa para índice de colheita em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	109
Tabela 4.10	– Número de grãos por espiga (NGE) em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	111
Tabela 4.11	– Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.....	112
Tabela 4.12	– Resumo da análise de variância para as características bioquímicas de folhas de milho em função da época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2	114
Tabela 4.13	– Valores médios do teor de proteínas solúveis (PROT), clorofila A (CLA), clorofila B (CLB) e carotenoides (CAROT) de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.....	116
Tabela 4.14	– Desdobramento da interação significativa para condutância estomática de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2	117

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO.....	14
2.1.1	Importância E Aspectos Econômicos Da Cultura	15
2.1.2	Ecofisiologia Da Cultura Do Milho	17
2.2	SISTEMA PRODUTIVO DO MILHO.....	20
2.2.1	Arranjo De Plantas Para A Cultura Do Milho.....	22
2.2.2	Densidades De Plantas Em Milho	24
2.3	ADUBAÇÃO NITROGENADA	29
2.3.1	Adubação Nitrogenada Na Cultura Do Milho.....	32
2.4	REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL	34
2.4.1	Reguladores De Crescimento Vegetal Na Agricultura.....	36
2.4.2	Uso De Reguladores De Crescimento Da Cultura Do Milho.....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
3	ARTIGO A - Redutor de crescimento e doses de nitrogênio no desempenho agrônômico do milho primeira safra	58
3.1	RESUMO	58
3.2	ABSTRACT.....	58
3.3	INTRODUÇÃO.....	59
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	61
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
3.6	CONCLUSÕES.....	82
3.7	REFERÊNCIAS	82
4	ARTIGO B - Desempenho fitométrico e produtivo de milho em resposta a épocas de aplicação de trinexapaque-etílico e aumento na densidade populacional	86
4.1	RESUMO	86
4.2	ABSTRACT.....	86

4.3	INTRODUÇÃO.....	87
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	89
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
4.6	CONCLUSÕES.....	119
4.7	REFERÊNCIAS	120
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) possui grande importância econômica e estratégica para a cadeia produtiva de alimentos. Seu elevado potencial produtivo, composição química e valor nutritivo privilegiados, o posicionam como um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo. No Brasil, é o cereal mais importante economicamente, e no estado do Paraná se destaca em área e produtividade de grãos. Utilizado tanto na alimentação humana quanto animal, tem também importante papel socioeconômico, além de servir de matéria-prima para inúmeras finalidades industriais.

Dada a relevância dessa cultura no contexto mundial e nacional, é necessário considerar a baixa média de produtividade de grãos brasileira, cerca de 5,5 toneladas por hectare, montante que não reflete o alto nível tecnológico empregado por muitos produtores e que é muito aquém do potencial genético de produtividade da cultura. Esse desempenho deve-se a disparidade nas técnicas de cultivo e investimento na lavoura, que é elevado em regiões com produção comercial em larga escala como o Sul e menos evidente em regiões de produção de subsistência como o norte e o nordeste brasileiro.

Alterações no arranjo das plantas, com adensamento, somadas a maiores adubações, podem ser benéficas ao rendimento de grãos em milho, devido às suas características morfo-fisiológicas que destacam a planta como eficiente em produção de biomassa e por consequência, em produtividade de grãos. O arranjo de plantas influi no rendimento de grãos do milho mais do que em outras poaceas, devido a baixa capacidade de compensação de falhas no estande, protandria, folhas opostas, elevado índice de área foliar e limitado perfilhamento.

Outra maneira de incrementar a produtividade da cultura do milho é por meio da adubação nitrogenada, já que, o nitrogênio (N) é constituinte de muitos compostos orgânicos das plantas, como a clorofila, que é fundamental ao processo fotossintético e de muitas outras que compõem as rotas metabólicas primárias e secundárias. Por isso, a suplementação de N via adubação é essencial ao manejo moderno das lavouras de milho, e maiores doses tem sido utilizadas no sistema produtivo desse cereal.

Portanto, o incremento nas doses de N, aliado aos cultivares modernos de milho que permitem maiores populações de plantas e são mais responsivos à adubação, é uma combinação promissora para o incremento produtivo de grãos na cultura. Porém, tanto o arranjo espacial adensado como altas doses de N estimulam o desempenho vegetativo, e têm resultado em limitações como o crescimento excessivo, desbalanço na relação fonte-dreno,

autossombreamento, estiolamento da parte superior do dossel das plantas, além da maior propensão ao acamamento e quebramento.

Os efeitos negativos do adensamento ou de uso de maiores doses de N quando não minimizados por estratégias genéticas, como a utilização de genótipos de menor porte, exigem a adoção de técnicas alternativas, como o uso de reguladores de crescimento vegetal. Esses são compostos sintéticos utilizados na agricultura para diversas finalidades, dentre elas, reduzir o crescimento indesejável da parte aérea das plantas, sem diminuir a produtividade de grãos. Nesse caso específico, o grupo dos inibidores da biossíntese das giberelinas é o mais utilizado, visto que, reduzem a elongação dos entrenós das poaceas e alteram o porte e arquitetura da planta.

Dentre esses reguladores, destaca-se o trinexapaque-etílico, que inibe a última etapa da biossíntese da giberelina, em que ocorre a redução da concentração de giberelinas ativas (Ga_1) através da redução da atividade da enzima Ga_{20} - 3β -hidroxilase, o que gera diminuição do alongamento caulinar. Com o auxílio do trinexapaque-etílico é possível alterar a morfologia da planta e, conseqüentemente, o arranjo espacial do milho para otimizar a utilização dos fatores produtivos.

Esse regulador de crescimento proporciona alteração da arquitetura foliar, gerando menor angulação das folhas, principalmente as do terço superior do dossel, o que favorece a interceptação da radiação solar, visto que as folhas terão menor comprimento. Isso pode gerar uma menor superfície foliar e, por consequência, respiração menor e alteração da relação fonte-dreno, com maior fotossíntese líquida. Essa modificação gera maior aproveitamento dos fatores produtivos, como a adubação nitrogenada e água no solo.

Fatores que estimulam crescimento, como doses de N, radiação, calor e água, aliados à maior densidade de plantas foram pouco explorados em conjunto com um fator antagônico, ou seja, que controle o desempenho vegetativo (regulador de crescimento) por meio da redução de porte, para as condições de cultivo do milho no Brasil. Porém, com as alterações morfológicas associadas a redução do porte das plantas, a relação fonte-dreno da cultura pode ser modificada e isso refletir na dinâmica de acúmulo e distribuição dos fotoassimilados para os grãos, assim como, pode modificar a composição bioquímica das plantas, principalmente o teor de proteínas solúveis, pigmentos fotossintetizantes e compostos de defesa.

Considerada a especificidade de resposta das plantas ao arranjo espacial para cada condição de nível tecnológico na cultura do milho, vale ressaltar que sua associação com o uso de reguladores de crescimento pode possibilitar o emprego de maiores populações, mantendo a eficiência produtiva individual por planta. Essa possibilidade de adensamento incrementaria a

produtividade de grãos por área em condições de altas doses de N, emprego de cultivares com elevado potencial produtivo e adequada época de cultivo.

Desta forma, trabalho teve por objetivo avaliar o uso de trinexapaque-etílico associado a elevadas densidades de plantas ou doses de nitrogênio em cobertura, sobre o desempenho morfológico, bioquímico e fisiológico das plantas de milho, e seu reflexo nos componentes produtivos e produtividade de grãos da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

O centro de diversidade da cultura do milho (*Zea mays* L.) é a América Central, principalmente no México, de onde se espalhou para o norte até o Canadá e para o sul até a Argentina. O registro mais antigo de milho consta de cerca de 7.000 anos, e foi encontrado por arqueólogos em Teotihuacan, um vale perto de Puebla, no México, mas é possível a existência de outros centros de origem secundários nas Américas (FAO, 1992).

Conforme tratado por Fornasieri Filho (2007), existem três vertentes que explicam a origem do milho: a primeira denominada evolução divergente que aborda a possibilidade de ter havido uma planta selvagem que originou o milho, os teosintes e o gênero *Tripsacum*, que apresentam similaridade de estrutura e suas diferenças visíveis podem ter origem do aborto de órgãos durante o processo de melhoramento. O mesmo autor argumenta que a segunda alternativa é que o teosinte tenha origem do milho, devido às suas reações de modificação do sabugo polístico para dístico, redução de grãos pareados e únicos, além do endurecimento das glumas e da raque, em resposta ao fotoperiodismo. A terceira hipótese, e mais aceita pela comunidade científica, é que o milho se originou do teosinte devido à seleção realizada pelo homem.

Essa teoria admite que as principais modificações durante a evolução foram o aumento da dominância apical, menor sensibilidade ao fotoperiodismo, diminuição de perfilhamento, aumento da separação entre inflorescências masculinas e femininas, assim como aumento significativo no tamanho das espigas. O milho é uma planta pertencente à família das poaceas, possui caráter monóico e ciclo anual, com altura variável de um a quatro metros, e alta eficiência na produção de grãos (FORNASIERI FILHO, 2007).

Conforme Paterniani (1978), a planta possui na estrutura morfológica uma haste cilíndrica ereta, formada por colmos e nós, inflorescência feminina (espiga) e masculina (pendão), folhas lanceoladas e um sistema radicular fasciculado.

É uma espécie de ampla adaptabilidade nas mais diferentes condições edafoclimáticas, podendo ser cultivada nas latitudes de 58° Norte até 40° Sul, assim como, localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500m de altitude (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Cultivado em regiões cuja precipitação é bastante variável, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o ciclo está em torno de 600 mm (MAGALHÃES;

DURÃES, 2006). É uma das plantas que possui maior eficiência em armazenar energia, considerando que de uma semente que pesa cerca de 0,3 g surge uma planta geralmente com mais de 2,0 m de altura num período aproximado de dois meses e, posteriormente, essa planta produz cerca de 600 a 1.000 sementes similares àquela da qual se originou (ALDRICH; SCOTT; LENG, 1982).

A alta eficiência em conversão de energia radiante em fitomassa pelo metabolismo fotossintético do tipo C4 do milho, apresenta características fisiológicas favoráveis à uma eficiente captação do gás carbônico da atmosfera em compostos orgânicos, os carboidratos. Isso ocorre devido a fixação do CO₂ pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP) nas células da bainha vascular, que proporciona uma contínua concentração de carbono no ambiente onde está a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO), que conduz a fixação do carbono dentro do ciclo C3, o que leva a otimização da produção de carboidratos (TAIZ et al., 2017).

Para se desenvolver, o milho necessita de calor e umidade relativa do ar adequados, uma vez que possui origem tropical. Quando cultivado em condições de clima subtropical, como as do Sul do Brasil, fatores como disponibilidade térmica e de radiação solar são de grande influência sobre o desenvolvimento, assim como a amplitude térmica de cerca de 12°C, que favorece a produção da cultura (SANGOI et al., 2010).

2.1.1 Importância E Aspectos Econômicos Da Cultura

O milho possui notável importância social e econômica, principalmente pela geração de empregos na zona urbana e rural. Representa um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados devido à sua relevância para os diferentes elos da cadeia do agronegócio (GALVÃO et al. 2014).

Para pequenos produtores a cultura é adotada como matéria prima para alimentação familiar, ou mesmo no trato de animais, tendo um aspecto de sustentabilidade na condição minifundiária, seja com o uso de variedades crioulas e/ou híbridos, que vêm respondendo positivamente ao incremento na tecnologia empregada na produção da cultura (ARAUJO et al, 2013).

No contexto de grandes propriedades, o milho se adaptou muito bem ao sistema plantio direto, do qual é um ótimo fornecedor de palhada. É também uma opção recorrente para a sucessão de culturas soja e milho, muito utilizada no Brasil, porém com

restrições técnicas, uma vez que essa baixa diversidade de cultivos reduz ciclagem de nutrientes, favorece o desenvolvimento de pragas e doenças, dentre outros fatores negativos (HIRAKURI et al., 2012).

Além disso, é uma cultura com ótima adaptabilidade dentro do sistema de rotação de culturas, com suas características singulares de produção de biomassa, sistema radicular robusto e grande adaptação ambiental, além dos resíduos das plantas deixados sobre a superfície do solo favorecem a decomposição, ciclagem de nutrientes e a produtividade das culturas subsequentes (TORRES et al, 2015).

Em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos, o principal uso do milho no Brasil, assim como nos Estados Unidos e no Canadá, é para a alimentação de animais e humana, direta ou indiretamente.

No Brasil, cerca de 52% do milho é utilizado para o consumo animal, principalmente avicultura com cerca de 30% e suinocultura com cerca de 13%, com tendência de aumento devido à maior utilização do sistema de produção sob confinamento na bovinocultura. Cerca de 7% são consumidos pela indústria, para diversos fins e, o consumo humano se limita a cerca de 2%. Destaca-se que nos últimos anos a quantidade de milho exportada pelo país tem aumentado, com cerca de 32% da produção sendo direcionada para esse fim (CONTINI et al., 2019).

Além desses, é crescente o uso na fabricação de etanol e DDG (grão de destilaria seco) nos Estados Unidos da América (KANEKO et al., 2010), e no Brasil (SANTOS, 2016).

Conforme o atual levantamento do departamento de agricultura dos Estados Unidos da América (USDA, 2020), a produção mundial de milho superou novamente 1 bilhão de toneladas na safra (2018/19), sendo a única cultura a alcançar esse patamar e, estima-se que serão produzidas cerca de 1,1bilhões de toneladas na safra atual, distribuídas em cerca de 192 milhões de hectares cultivados no mundo, com média de produtividade de grãos de 5.790 kg ha⁻¹.

No âmbito nacional, a produção estimada é de 101 milhões de toneladas na safra 2019/20 (primeira e segunda safra), sendo o terceiro maior produtor mundial. Essa produção terá por base uma produtividade média nacional de aproximadamente 5.580 kg ha⁻¹ na safra atual e área semeada de 18,1 milhões de hectares (CONAB, 2020).

Apesar da produção brasileira se destacar mundialmente, a produtividade não acompanha esse desempenho, sendo muito inferior a observada nos Estados Unidos da América, que é o maior produtor mundial e cuja produtividade nas últimas safras ficou em

cerca de 11.080 kg ha⁻¹, mais que o dobro da brasileira (USDA, 2020).

A produtividade média da cultura do milho no País não reflete o bom nível tecnológico adotado por muitos agricultores voltados ao cultivo comercial, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, com diferentes sistemas de cultivo, finalidades e níveis tecnológicos (DEMÉTRIO, 2008; CONAB, 2020).

Segundo a CONAB (2019), diferentes condições ambientais encontradas nas regiões produtoras também são limitantes para obtenção de uma média produtiva mais satisfatória no âmbito nacional. Como exemplo tem-se a produtividade média paranaense 6.125 kg ha⁻¹ e a cearense de 834 kg ha⁻¹ (safra 2018/19), sendo essa discrepância baseada na distinta condição climática e nível tecnológico empregado à cultura do milho nessas regiões.

A região Sul é a segunda maior produtora do cereal, atingindo cerca de 24,5 milhões de toneladas, com sua produção de primeira e segunda safra. O Paraná se destaca como o segundo maior produtor brasileiro de milho, com produção aproximada de 15,8 milhões de toneladas na safra atual. A área cultivada paranaense é de cerca de 2,6 milhões de hectares somando-se primeira e segunda safra (CONAB, 2020).

Ainda no levantamento supramencionado, com uma produção que cresceu na safra atual, o Brasil terá uma exportação de cerca de 36 milhões de toneladas do grão, como consumo interno atual que se aproxima de 52 milhões de toneladas. Essa demanda interna se deve a sua grande utilização como ração animal, alimentação humana e uso nas indústrias nacionais, com destaque ao incremento da produção de gado em sistema confinado e da produção de etanol em Mato Grosso, demandando mais grãos para consumo interno.

2.1.2 Ecofisiologia Da Cultura Do Milho

A diversidade de respostas fisiológicas das plantas em relação ao ambiente é o objetivo de estudo da ecofisiologia, e a interpretação dessas respostas sobre as características morfológicas e fisiológicas do milho é de fundamental importância para melhoria de manejo e eficiência no sistema de produção deste cereal (SANGOI et al., 2010).

A separação do ciclo de vida das plantas em estádios fenológicos surgiu com o intuito de facilitar o detalhamento das etapas que o compõem (WAGNER et al., 2013). Estes são classificados de acordo com as transformações que ocorreram nos processos de crescimento e de desenvolvimento, como a germinação, brotação, florescimento, espigamento e maturação e, os seus conhecimentos ajudam a melhorar a descrição do ciclo da cultura

(BERGAMASCHI et al., 2006).

Embora as plantas de milho sigam o mesmo padrão de desenvolvimento, vários fatores, como cultivares, solo, adubação, clima, práticas culturais, pragas, doenças, ano agrícola e época de semeadura, são capazes de interferir nos estádios fenológicos, no número total de folhas desenvolvidas, na produtividade e na qualidade dos grãos de milho (OKUMURA et al., 2011).

Segundo Ritchie et al. (1993), a distribuição dos estádios da cultura se dá em período vegetativo que vai de VE (emergência) até VT (pendoamento) e reprodutivo de R1 (embonecamento) até R6 (maturidade fisiológica).

A definição de potencial produtivo e dos componentes de rendimento se dão durante o período juvenil das plantas. Portanto é necessário destacar alguns estádios que são essenciais nesse processo. Em V3 ocorre o estabelecimento do número máximo de grãos, ou a definição da produção potencial e, em V5, tanto o número de folhas, como de espigas vão estar definidos e a iniciação do pendão já pode ser vista microscopicamente, na extremidade de formação do colmo (SANGOI et al., 2010).

Em V6 (seis folhas completamente desenvolvidas) ocorre o período de alongação acelerada do colmo e onde o ponto de crescimento já se localiza acima do solo, com sistema radicular já 85% completo. Em V9 ocorre grande desenvolvimento dos órgãos florais, e as espigas potenciais encontram-se visíveis ao se realizar a dissecação das plantas (WEISMANN, 2008).

Ritchie et al. (1993) descrevem que o número de óvulos por espiga, assim como o tamanho dessas é definido no estágio V12, onde a planta possui cerca de 90% da sua área foliar e, em V18 a planta do milho encontra-se a uma semana do florescimento e o desenvolvimento da espiga continua em ritmo acelerado. Em VT (pendoamento) a planta atinge o máximo desenvolvimento e crescimento, ocorre a emissão da inflorescência masculina e, alguns dias depois em R1 (embonecamento e polinização), os estilos-estigmas se tornam visíveis para receber os grãos de pólen que já estão sendo dispersos e vão fecundando gradativamente as inflorescências femininas.

Ainda na fase reprodutiva, as plantas passam por R2 (grão bolha d'água), R3 (grão leitoso), R4 (grão pastoso), R5 (formação do dente) e chegam ao fim em R6 (maturidade fisiológica), onde as sementes atingem seu máximo peso e iniciam processo de secagem até atingir nível de umidade que possibilite a colheita mecânica sem ocorrência de danos físicos às sementes (SANGOI et al., 2010).

Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta grande

sensibilidade a estresses de natureza biótica e abiótica, e isso aliado a sua baixa plasticidade foliar, reduzida prolificidade e baixa capacidade de compensação efetiva, torna o rigoroso planejamento do manejo do cultivo essencial para a manifestação de sua capacidade produtiva (ANDRADE, 1995; SANGOI et al., 2010).

A definição do potencial produtivo depende diretamente do conhecimento das fases de desenvolvimento da cultura. A definição do primeiro componente de rendimento se dá logo entre VE e V1, onde é definida a densidade populacional pelas plantas que emergem e se estabelecem. Em seguida, de V7-V12 se define o número de fileiras da espiga e em V12-R1 o número de óvulos potenciais por fileira, que comporão a quantidade potencial de grãos da inflorescência feminina. Por fim, já nos estádios R1-R2, é definido o potencial de enchimento dos grãos, ou seja, a massa potencial de grãos que vão compor a produção final de grãos da planta, massa essa que é consolidada entre R2 e R6 (FORNASIERI FILHO, 2007).

O conhecimento dos estádios fenológicos permite o posicionamento dos manejos agrotecnológicos necessários à cultura, assim como a adoção de novas tecnologias de forma satisfatória, verificando o efeito de cada manejo nos processos em desenvolvimento na planta e seu resultado ao fim do ciclo em termos produtivos e/ou morfológicos (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

Adicional a esse entendimento fenológico, é essencial a compreensão da eficiência fotossintética da cultura do milho, que é alta, devido ao mecanismo bioquímico de concentração do CO₂ (planta C4). Por isso, o incremento produtivo pode ser baseado na otimização da interceptação da radiação solar, devido ao índice de área foliar equilibrado, conversão em fotoassimilados e aliadas ao menor custo energético pela respiração, ocasionam incremento da fotossíntese líquida das plantas de milho (TAIZ et al., 2017).

Nesse contexto, devem ser considerados os fatores que influenciam a distribuição e adaptação do milho. A temperatura é o que mais altera a velocidade de crescimento e de desenvolvimento da cultura, porque afeta quase todos os processos fisiológicos da planta, e a faixa entre 25 e 30°C, é considerada ideal para o desempenho adequado da cultura (SANGOI et al., 2010).

A temperatura do ar, portanto, é um dos principais determinantes da fenologia das plantas e, o milho possui essa característica, sendo que para a cultura, a descrição do crescimento e do desenvolvimento fenológico é baseada no acúmulo energético acima de determinada temperatura-base, a chamada soma térmica, que norteia a classificação dos grupos de maturação das cultivares de milho (BERGAMASCHI; MATZENAUER,

2014).

A exigência hídrica do milho é variável, dependendo dos fatores climáticos predominantes no período de desenvolvimento, da cultivar e do estágio da cultura que interfere de forma direta sobre a área foliar e a intensidade de transpiração (SANGOI et al., 2010). O milho é uma planta muito exigente em água, porém pode ser cultivada em regiões com precipitação pluvial bastante variável.

A média de consumo da planta é de 600 mm durante todo o ciclo (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Sua maior exigência hídrica situa-se na pré-floração e início da fase de enchimento de grãos, devido a maior superfície foliar, que ocasiona maior transpiração, sendo recomendado portanto, a escolha de época de semeadura e região de cultivo que proporcionem distribuição e quantidade de precipitações pluviométricas adequadas em caso de cultivo de sequeiro (MONTEIRO, 2009).

A radiação solar é outro fator climático de grande interferência para o desempenho da cultura do milho, que apresenta metabolismo do tipo C4 e extensa área foliar, o que torna possível alta eficiência em conversão da energia luminosa em química (SANGOI et al., 2010).

Com relação a essa eficiência, busca-se a coincidência das fases de pré-floração, floração e início do enchimento de grãos onde a cultura possui maior área fotossinteticamente ativa com os dias mais longos. Isso principalmente em regiões de maior latitude como o sul brasileiro, em que a época de semeadura será essencial nessa determinação e terá consequências diretas ao rendimento de grãos (NASCIMENTO et al., 2011).

2.2 SISTEMA PRODUTIVO DO MILHO

A produção de milho atual está baseada no uso de tecnologias consagradas como o sistema de plantio direto (SPD), a adubação de base, a adubação nitrogenada de cobertura, a adequação da época de semeadura, a escolha correta do genótipo adaptado à região, o adequado arranjo de plantas, o manejo de doenças, pragas e plantas daninhas e a colheita (EMBRAPA, 2015). Esses pontos são essenciais para a manutenção do rendimento, possibilitando a expressão do potencial produtivo dos genótipos modernos de milho (GONZALEZ et al., 2018).

A produção brasileira de milho tem sido caracterizada pela divisão em duas épocas de cultivo: o cultivo de verão, ou primeira safra, realizado em época tradicional,

durante o período chuvoso e quente, com semeadura variando entre os meses de agosto a novembro. Já o cultivo da chamada segunda safra (safrinha) corresponde ao milho semeado de janeiro a abril, o qual tem aumentado significativamente nos estados do Paraná, São Paulo e na Região Centro-Oeste (CONTINI et al., 2019). A partir da safra 2011/12 a segunda safra ultrapassou a primeira em área e produção e, atualmente, é responsável por mais de 58% da produção nacional de grãos de milho (CONAB, 2019).

Conforme Rezende et al. (2004), o ciclo da cultura do milho varia de 100 a 180 dias entre a germinação e a colheita. Essa variação se dá principalmente em função dos diferentes genótipos existentes e da temperatura durante o ciclo, a qual possui relação linear com a duração dos períodos de desenvolvimento da planta. A classificação do ciclo das cultivares é baseada no acúmulo de unidades de calor, chamadas graus-dia (GD) até o florescimento, existindo desde genótipos hiperprecoces que necessitam de menos de 790 GD, precoces de 790 a 830 GD, intermediários 830 a 889 GD e tardios com exigência de mais de 890 GD para atingir a floração (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

A otimização do processo de produção de grãos na cultura do milho é dependente de quatro fatores: da quantidade de radiação disponível, do quanto essa é interceptada, do quanto é convertida em biomassa e do quanto é particionada para as estruturas de interesse econômico, o que obedece a relação fonte-dreno em cada fase da cultura (SILVA et al., 2006). A radiação incidente é dependente da posição geográfica da área produtora e da época de semeadura da cultura (COELHO et al., 2019).

A eficiência de interceptação da radiação, conversão e partição em produtos orgânicos depende de fatores climáticos como temperatura e disponibilidade hídrica, fatores edáficos como fertilidade do solo, e do manejo com destaque para práticas como a alteração de densidades e do arranjo de plantas na área (SANGOI et al., 2019a).

Para a obtenção de altas produtividades na cultura do milho, o cultivo deve ser tecnificado, possuir adubações maiores e balanceadas tanto na semeadura como em cobertura, comprovando que o milho é uma cultura muito exigente e muito responsiva a adubações, principalmente a adubação nitrogenada, e que sua alta produtividade está diretamente ligada a um correto método de adubação e dosagens adequadas (CRUZ et al., 2010; SANGOI et al. 2019b; BARBOSA et al., 2019).

De forma geral, o potencial produtivo do milho pode ser melhor explorado pela adoção de genótipos modernos e melhor adaptado às condições de cultivo, época de semeadura preferencial para a região, adubações eficientes, principalmente a nitrogenada e o emprego de espaçamento e densidade de semeadura que proporcionem o melhor arranjo de

plantas e, portanto, melhor aproveitamento da tecnologia empregada (KAPPES, 2010; MIRANDA et al., 2019).

2.2.1 Arranjo De Plantas Para a Cultura Do Milho

O milho está entre as culturas mais estudadas e melhoradas geneticamente em todo o mundo, expressando potencial de produtivo acima das 38,5 toneladas por hectare (IGLESIAS, 2019). Embora o potencial genético da cultura, as médias de produtividade mundial e nacional são muito inferiores a essa marca. Nesse contexto, o arranjo espacial das plantas é fundamental para a obtenção de patamares ainda maiores de rendimento (CALONEGO et al., 2011; ARRIEL et al., 2019; SANGOI et al., 2019a).

A matéria seca total das plantas comprovadamente aumenta conforme o incremento da fotossíntese líquida, resultante dos efeitos combinados entre fotossíntese total, respiração e fotorrespiração, durante a fase de crescimento da cultura e, tal afirmação é válida para a cultura do milho mesmo que essa tenha menor influência do processo de fotorrespiração (TAIZ et al., 2017).

A fotossíntese líquida será maior com a maior eficiência de interceptação da radiação pelas plantas, diretamente influenciada pelas condições ambientais a que estiveram sujeitas, pela população e arranjo espacial de plantas utilizado, pelo número e angulação das folhas em relação ao colmo, pela extensão da área foliar e permanência das mesmas em plena atividade (PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2010).

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho é de fundamental importância na produtividade, quando os demais fatores ambientais encontram-se em condições favoráveis (OTTMAN; WELCH, 1989; FARINELLI et al., 2012). Argenta et al. (2001b) e Sangoi et al. (2019a) afirmam que escolher o arranjo de plantas adequado para as condições do cultivo a ser realizado é uma das práticas de manejo mais importantes para quem busca alto rendimento de grãos de milho, pois este afeta diretamente a interceptação da radiação solar, a qual é um dos principais fatores que determinam a produtividade.

Conforme Gonçalves (2008), para a máxima utilização da radiação solar é necessária a adoção de altas densidades de plantas e redução no espaçamento entre linhas para assim obter área foliar adequada, captar rapidamente a radiação incidente e mantê-la por longo período após o espigamento.

Segundo Rizzardì et al. (1994), o arranjo de plantas se refere a diferentes combinações de espaçamento entre linhas de semeadura e populações de plantas, ou seja, como as plantas estão distribuídas em uma devida área. O melhor arranjo busca proporcionar uma distribuição uniforme das plantas, possibilitando a melhor utilização da luz, água e nutrientes. Desta forma, Sangoi et al. (2010) afirmam que com a distribuição equidistante das plantas, estas competem com menor intensidade entre si por nutrientes, água e luz.

Possivelmente a disponibilidade de água seja o fator mais importante para a escolha de arranjo espacial na cultura do milho, sendo desestimulado o incremento na densidade populacional em regiões e/ou épocas em que existe possibilidade de seca, já que esse vem acompanhado do aumento no índice de área foliar que maximiza a evapotranspiração da lavoura, tornando o déficit hídrico ainda mais prejudicial (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Para minimizar danos por falta de água e mesmo para otimizar seu aproveitamento pela cultura, a redução de distância entre fileiras e a manutenção de populações de plantas mais elevadas tem sido usual. A redução do espaçamento entre linhas reduz a competição das plantas pela água por essas estarem melhor distribuídas na área (JOHNSON et al, 1998), e o sistema radicular pode ter maior profundidade e desenvolvimento lateral (ARGENTA et al, 2001a; SANGOI, 2012a).

O rápido sombreamento da superfície do solo ocasionado pela utilização de espaçamentos reduzidos minimiza a evaporação superficial da água do sistema no início do ciclo da cultura, além de que essa cobertura precoce do solo reduz o escoamento superficial e a erosão decorrentes de precipitações pluviais intensas nesse período inicial (SANGOI et al., 2011).

A necessidade nutricional também deve ser levada em consideração para uma escolha de arranjo, pois o milho é muito exigente e responsivo à fertilidade de solo. Essa resposta é mais evidente para o nutriente nitrogênio que pela forma de absorção de fluxo de massa tem direta relação com a disponibilidade hídrica na área, ou seja, a melhor distribuição do sistema radicular das plantas absorve mais água e nutrientes como o nitrogênio (ARGENTA et al, 2001a; LANA et al, 2009; LANA et al., 2014).

Vale ainda ressaltar, que a melhoria no arranjo de plantas tem consequência direta na redução na competição inter e intra-específica pelos fatores produtivos anteriormente citados, seja luz, água ou nutrientes. Isso se baseia num aumento da área foliar por unidade de área ou índice foliar, que ocorrendo no início do desenvolvimento da cultura, faz com que haja uma maior produção de biomassa e essa se traduz posteriormente em produção de grãos

(PALHARES, 2003).

No que tange a competição inter-específica, em relação às plantas daninhas, foi constatada supressão dessas quando se faz uso de arranjo espacial com distância reduzida entre as linhas, isso devido ao maior crescimento inicial da cultura do milho que é favorecida em detrimento das plantas invasoras. Por consequência, a competição entre elas é reduzida, ou o período de competição é reduzido. Isso facilita o manejo e contribui para manutenção do potencial produtivo da cultura (BALBINOT JÚNIOR e FLECK, 2005; ACCIARES; ZULUAGA, 2006; SANGOI, 2012a).

Há décadas os genótipos comerciais de milho passam por linhas de melhoramento genético que visam obter plantas com menor altura da planta e da inserção da espiga, menor esterilidade, menor área foliar por planta, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo. Isto tornou evidente a necessidade de se reavaliar as recomendações de arranjo de plantas na cultura do milho (ARGENTA et al., 2001b; MARCHÃO et al., 2006; DOURADO NETO et al., 2010).

Apesar de há muito tempo os estudos sobre o uso de espaçamento reduzido, cerca de 45 a 50 cm entre linhas, e maiores populações de plantas na cultura do milho serem realizados, apenas recentemente os agricultores vem adotando estas técnicas em suas lavouras (LEOLATO et al., 2017). É importante ressaltar que os resultados positivos são frequentes na associação dessas práticas, ou seja, redução de espaçamento e uso de densidades populacionais maiores (PEREIRA et al, 2008; STACCIARINI et al., 2015). Serpa et al. (2012) relatam que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica que foram incorporadas nas plantas pelos programas de melhoramento, aliadas as mudanças no manejo da cultura, como o arranjo de plantas, podem proporcionar altos rendimentos.

2.2.2 Densidades De Plantas Em Milho

Dentre as formas de interferência no arranjo espacial da cultura do milho, as modificações na densidade populacional mostram-se mais efetivas na alteração de rendimento por área, que responde a pequenas variações na população (SANGOI et al., 2001a; LEOLATO et al., 2017).

Essa sensibilidade a alterações na densidade populacional se deve à baixa capacidade de emissão de perfilhos, baixa prolificidade, limitada capacidade de expansão foliar e característica floral monóica da cultura do milho (SANGOI et al., 2011). Além disso,

os componentes de rendimento e a massa do grão, não possuem plasticidade suficiente para compensar reduções no número de plantas (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008) e, isso resulta em um intervalo estreito de população de plantas em que a cultura expressa um máximo resultado produtivo. Assim, definir a população mais adequada ao tipo de cultivo e nível tecnológico empregados é de fundamental importância para o sucesso da cultura de milho.

Segundo Mundstock (2005), altos rendimentos na cultura do milho somente serão obtidos com adequado número de plantas por unidade de área. O número ideal de plantas por área deve ser determinado levando em consideração a disponibilidade hídrica da região, a fertilidade do solo, a cultivar a ser utilizada, a finalidade do cultivo do milho, a latitude da área e a época de semeadura da cultura (SANGOI, 2012a).

Em relação à disponibilidade hídrica, é ressaltada a sensibilidade da cultura ao estresse hídrico, principalmente no período de florescimento. Nesse contexto é possível inferir que quando existe risco de falta de água, a densidade deve ser menor, pois em caso de restrição hídrica, maiores populações que tem maior índice de área foliar sofrerão mais com o estresse e isso estimula a assincronia floral da cultura, gerando prejuízos mais evidentes à produtividade de grãos (SANGOI, 2007).

No que diz respeito ao aspecto nutricional, considerada a exigência do milho, principalmente do nitrogênio, altas populações por hectare devem receber maior suplementação nutricional (AMARAL FILHO et al., 2005). Fontoura e Bayer (2009) relatam que a densidade ótima tem correlação direta com a disponibilidade de nitrogênio fornecido na semeadura.

O genótipo escolhido também influi diretamente na escolha da população e, os genótipos disponíveis no mercado, na sua maioria os híbridos simples, apresentam menor porte e altura de inserção da espiga, precocidade e tolerância à patógenos. Essas características favorecem o adensamento da lavoura já que as plantas mesmo produzindo menos individualmente, incrementam a produtividade pelo maior número de espigas colhidas por área (SANGOI et al., 2012a). O mesmo autor cita que a latitude em que se localiza a região produtora deve ser levada em consideração na recomendação da densidade de plantas, já que quanto maior a latitude, menor a duração da estação de crescimento, então nessa condição que é encontrada no sul do país, deve-se aumentar a densidade populacional e utilizar híbridos precoces, para compensar a menor produção individual e obter alto rendimento de grãos por hectare.

Por fim, a época de semeadura é outro fator que direciona a escolha da densidade populacional, principalmente em regiões de maior latitude. Em semeaduras

precoces quando a temperatura média é menor e a luminosidade adequada, é possível adequação de maiores densidades de plantas. Neste caso, o maior número de indivíduos por área favorece o aproveitamento dos fatores produtivos, que vão se tornando mais abundantes com o passar do ciclo da cultura, oposto a isso ocorre em semeaduras tardias, em que se restringe a utilização de maiores populações (PIANA et al., 2008; SILVA et al., 2010).

Alguns anos atrás, a população de plantas de milho utilizada no Brasil foi relatada por Sangoi et al (2010) como variável entre 50.000 e 80.000 plantas hectare⁻¹, com menores populações de plantas recomendadas em condições restritivas e as maiores em manejo tecnificado aliado a boas características edafoclimáticas da área. Atualmente, no entanto, populações acima de 80.000 plantas por hectare tem possibilitado altas produtividades em condições experimentais como relatado por Zucareli et al. (2019).

Porém existem variações quanto ao produto comercial desejado, então nem sempre o ideal é a maior produção de grãos por área. Em trabalho realizado por Rocha et al., (2011), quando o objetivo foi a produção de espigas para comercialização de milho verde, a densidade que melhor se adequou foi a de 50.000 plantas, considerada baixa para produção de grãos.

Dourado Neto et al. (2001) salientam que o rendimento de grãos na cultura do milho por unidade de área aumenta linearmente com o aumento da população de plantas, até um ponto denominado “crítico”, o qual varia entre os diferentes híbridos. Esse aumento linear se dá devido à produção de grãos por unidade de planta permanecer constante. Nesta faixa de população que antecede o ponto crítico, não há competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, assim, a produção de grãos por unidade de planta permanece constante.

Conforme Dourado Neto (2010), acima da população crítica, devido à competição ocorrida entre as plantas de milho, a produção por planta decresce e o rendimento de grãos por área apresenta comportamento quadrático. Assim, determina-se o ponto denominado ponto de máxima produção por área ou produtividade máxima, ou seja, a população ideal para a combinação genótipo-ambiente. Em populações além desse ponto de máxima produção por área, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando redução no rendimento de grãos por hectare.

Em alguns casos, devido a peculiaridade da interação ocorrida entre híbridos e ambiente, o rendimento pode ser acrescido conforme o aumento da população de plantas, sem que este atinja o ponto crítico, como observado em trabalhos realizados por Marchão et al. (2005); Casa et al. (2007) e Kappes et al. (2011), que testaram populações de milho de 97.000, 90.000 e 125.000 plantas por hectare, respectivamente. Ressalta-se que nestes

trabalhos, altas populações de plantas foram necessárias até que a curva de produtividade alcançasse o ponto de inflexão (ponto de máxima resposta) e se obtivesse o máximo.

Dentre os fatores que podem expandir o intervalo de densidade de plantas para a lavoura de milho, ou seja, que permitem o acréscimo de adensamento sem efeito negativo sobre os parâmetros produtivos, a água é um dos destaques. Assim como destacado por Ben et al. (2016), em que a densidade de plantas foi aumentada até 130.000 plantas por hectare, com a suplementação de irrigação de 100% da evapotranspiração, favorecendo a produtividade que alcançou 15 toneladas de grãos por hectare.

O nitrogênio pode também ser utilizado como facilitador do acréscimo na densidade de plantas. Conforme relatado por Zucareli et al. (2019) em que se obteve a maior produtividade de grãos de milho (7,7 toneladas ha^{-1}), com 80.000 plantas ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} , demonstrando efeito sinérgico entre o incremento da densidade de plantas e o incremento das doses de N. Diversos trabalhos também corroboram com essa informação, porém com doses de N distintas, como: 320 kg ha^{-1} de N no trabalho de Lins et al. (2017) e 150 kg ha^{-1} de N no trabalho de Batista et al. (2019).

Por outro lado, com a utilização de baixas densidades de plantas se reduz a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta, ou seja, a produção individual por planta é a maior possível, porém o rendimento de grãos por área é reduzido (SANGOI, 2011).

A literatura relata as vantagens da utilização de densidades maiores, seja na interceptação da radiação solar (ARGENTA et al., 2001a; SANGOI et al., 2010), na otimização de absorção da água (TOKATLIDIS et al., 2011) e dos nutrientes, com destaque para o nitrogênio (MELO et al., 2011; AMARAL FILHO et al., 2005), maior desenvolvimento inicial das plantas que favorece a produção de biomassa por planta, assim como vantagens competitivas com as plantas daninhas (SANGOI, 2012a).

Os benefícios ao crescimento e desenvolvimento da planta com superioridade produtiva alcançada pela prática de adensamento da cultura do milho são relatados por diversos autores como Flesch e Vieira (2004); Casa et al. (2007); Sangoi et al. (2007); Brachtvogel et al. (2009); Melo et al., (2011); Kappes et al. (2011); Sangoi et al. (2011); Tokatlidis et al., (2011) Stacciarini et al., (2015).

Porém são contatadas também algumas desvantagens da prática de incrementar a densidade populacional na cultura do milho. Sangoi et al. (2010) citam que o incremento da densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para a fase de enchimento de grãos e a manutenção das demais estruturas do vegetal. Ainda, segundo os

autores, o aumento da população reduz o tamanho das espigas, no entanto essa é compensada na produção pelo aumento do número de plantas e, conseqüentemente, número de espigas e grãos por área.

Da mesma forma, mesmo com o aumento da produtividade, o acréscimo no número de plantas por unidade de área normalmente afeta de forma negativa alguns componentes de produção como massa de mil grãos, número de grãos por espiga e número de espigas por planta (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; KAPPES, 2010).

Conforme o genótipo escolhido, os efeitos da densidade populacional podem ser diferenciados. Os híbridos tardios e de porte alto, que produzem maior quantidade de massa verde, geralmente não se beneficiam dos menores espaçamentos ou aumentos na densidade de plantas, pois possuem grande desenvolvimento vegetativo e logo no início de seu ciclo já estarão sombreando as plantas vizinhas (KAPPES et al., 2011).

O uso de maiores densidades de plantas também acarreta malefícios aos cultivos resultando em plantas mais altas com colmos mais finos (SANGOI et al., 2002; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003) e juntamente com a maior distância entre o ponto de inserção das espigas no colmo e o solo (ARGENTA et al., 2001a), acabam favorecendo o acamamento da cultura (FORNASIERI FILHO, 1992; KAPPES, 2010). Segundo Tollenaar et al. (1994), exageros na população de plantas resultam em aparato fotossintético insuficiente para a manutenção de todos os drenos, o que acaba levando os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões, favorecendo ainda mais o acamamento.

Ainda como desvantagem há o favorecimento do desenvolvimento de patógenos quando se trabalha em populações de plantas muito altas. Conforme Silva et al. (2012), que trabalharam com 78.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ em cultivo de segunda safra, na maior população há maior prejuízo por ocorrência de doenças foliares.

Na maioria dos trabalhos que buscam definir uma população ótima para cultura de milho com híbridos de elevado potencial produtivo, os máximos rendimentos de grãos foram alcançados com altas densidades populacionais, 70.000 a 110.000 plantas ha⁻¹ (AMARAL FILHO et al., 2005; DEMÉTRIO et al., 2008; FARINELLI et al., 2012; ROSSATO JÚNIOR et al., 2013; ARRIEL, 2019; ZUCARELI et al., 2019; SANGOI et al., 2019a).

Desta forma, fica evidente que a recomendação de populações de plantas acima de 70.000 plantas ha⁻¹ pode ser adotada em ambientes favoráveis visando elevar as produtividades da cultura, desde que sejam usados híbridos tolerantes ao acamamento

(ALMEIDA et al., 2000; MARCHÃO et al. 2005). Com base nisso, Kappes et al. (2011) citam que em condições de ambiente favorável, o potencial dos genótipos modernos de milho pode estar sendo subestimado. Entretanto, com a utilização de elevadas densidades, deve atentar para a adequação de outras práticas de manejo, como o ambiente de cultivo e a adubação nitrogenada.

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio (N) é considerado um nutriente essencial para as plantas, classificado como um macronutriente, devido a quantia necessária do mesmo para que o ciclo de vida dos vegetais se complete e haja a reprodução (TAIZ et al., 2017).

Sua importância é baseada na presença do N em uma gama de moléculas orgânicas, como por exemplo na clorofila, grande responsável pelo processo de captação energética da fotossíntese. Está presente ainda na constituição de aminoácidos, proteínas e enzimas, participantes de diversas reações metabólicas das plantas, como por exemplo o processo de fixação do CO₂ no ciclo C₃ pela enzima RUBISCO que possui N em sua constituição (VARELLA et al, 2019).

De forma geral, o N está presente em moléculas que participam dos metabolismos primário e secundário. Portanto, sem a quantidade adequada desse nutriente não é possível que o crescimento e desenvolvimento da planta ocorra de forma satisfatória (EPSTEIN, 1999).

Dentre os macronutrientes, o N é o elemento que proporciona maiores respostas quanto à produção de fotoassimilados para as plantas superiores. Ele se encontra em abundância na composição do ar atmosférico, cerca de 78% (TAIZ et al., 2017). No entanto, na atmosfera a forma gasosa N₂ é predominante e não pode ser assimilada pelas plantas. Essas absorvem o N nas formas de nitrato, nitrito e amônio (NO₃⁻, NO₂⁻ e NH₄⁺). Para tanto, o N₂ deve ser fixado no solo por microorganismos, principalmente por bactérias diazotróficas.

Esses microrganismos quebram a ligação tripla do N₂, que devido ao processo de oxidação forma NO₃⁻ e NO₂⁻ e pode ainda ser reduzido à NH₄⁺ pelos mesmos organismos, podendo então ser adquirido pelas plantas via absorção radicular, principalmente pelo processo de fluxo de massa (KERBAUY, 2004).

Outra fonte importante de N para as plantas é a fração consolidada da matéria orgânica do solo, que fornece substrato para que os organismos mineralizadores realizem sua função e liberem as formas possíveis de serem absorvidas na solução do solo

(TAIZ et al., 2017). Porém, quando se trata do contexto agrícola, na maioria dos casos o N necessário ao desenvolvimento das plantas é fornecido exogenamente pela fertilização nitrogenada. Isso pode ser realizado via adubação, essa pode ter várias fontes, no entanto a mineral é a mais utilizada pela maior facilidade de controle da quantidade e velocidade de liberação do N para as plantas via solução do solo (CANTARELLA; MARCELINO, 2008).

A assimiliação do N nas plantas se dá sob a forma nítrica (NH_4^+), portanto é necessário que quando o N for absorvido nas formas de NO_3^- , NO_2^- , seja reduzido na planta à amônia (NH_3^+) pela ação das enzimas redutase de nitrato e de nitrito (BÜLL, 1993), e após se encontrar como NH_4^+ , passa pelo processo de assimilação onde é principalmente adicionado em moléculas orgânicas como asparagina e glutamina, e passa daí em diante a uma diversidade de outras moléculas orgânicas, exercendo suas funções, que como mencionado anteriormente são essenciais aos processos vitais das plantas (BLOOM et al., 1992; LEA et al., 1992).

Ao se considerar a importância desse nutriente para as plantas é necessário compreender que o manejo agrotecnológico da adubação nitrogenada deve ser realizado de forma eficiente, uma vez que interfere na dinâmica do N no sistema solo-planta e é por conseguinte, é o fator de manejo mais influente no nas plantas visando alto desempenho produtivo (ZUCARELI et al, 2019).

O nitrogênio é o nutriente de maior importância para a maioria das culturas comerciais, isso devido ao seu papel fundamental no metabolismo vegetal (ANDRADE et al., 2003). No entanto ele encontra-se em quantidade insuficiente na maioria dos solos, inclusive nos brasileiros, tornando-se fundamental o seu fornecimento para obter-se produtividade satisfatória, já que o mesmo influencia o acúmulo de biomassa das plantas e consequentemente a sua capacidade de produzir os órgãos de interesse comercial (KAPPES et al., 2013).

Por ser um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas culturas, é considerado o segundo maior fator limitante da produção agrícola, perdendo apenas para a deficiência hídrica (GRAHAM, 2000). As exigências por N nos estágios iniciais de desenvolvimento de culturas são geralmente pequenas, porém são necessárias para promover um rápido desenvolvimento inicial e definir a produção potencial (FANCELLI, 2010).

A resposta da produtividade ao nitrogênio está diretamente relacionada à influência dele sobre o índice de área foliar da planta, que, por sua vez, afeta a eficiência de uso da radiação solar e a produção de biomassa, as quais se correlacionam, positivamente, com a produção (HEINEMANN et al. 2006).

Solos brasileiros não suprem a demanda das plantas por N (ERNANI, 2003), elemento responsável por uma série de funções metabólicas que determinam o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas (YANO et al., 2005), sendo essencial, portanto, sua complementação com fertilizantes nitrogenados.

A fertilização nitrogenada na maioria das situações é realizada com aplicações antes e após a emergência das culturas, em que essas absorvem nitrogênio sob duas formas, amônio e nitrato (NH_4^+ e NO_3^-). A dinâmica do N no sistema solo-planta pode ser influenciada principalmente pelo manejo do solo, tipo de fertilizante, formas de manejo, condições edafoclimáticas (KAPPES et al., 2014), coberturas vegetais e população microbiana heterotrófica (AITA et al., 2007).

Neste contexto, a pesquisa recomenda o parcelamento da adubação com N, disponibilizando parte do nutriente na semeadura e o restante em cobertura, levando em consideração o teor de matéria orgânica, histórico da área e o rendimento esperado. Fancelli (2010) recomenda que à adubação de cobertura seja realizada quando a planta de milho apresentar quatro folhas completamente expandidas, sendo que o limite máximo para fazer a aplicação é quando a planta tiver oito folhas completamente expandidas.

O manejo correto do nitrogênio, pela avaliação de doses (GAZOLA et al., 2014) e modos de aplicação (SILVA et al. 2008), também é importante e exclusivo para determinados manejos do solo e genótipos utilizados, evitando doses exageradas que possam aumentar a incidência de doenças (TANAKA et al. 2008) e o acamamento de plantas (ESPINDULA et al. 2010). Os processos de volatilização, lixiviação, nitrificação, desnitrificação e imobilização influenciam na dinâmica deste nutriente no solo e particularizam o seu manejo, nos diferentes sistemas de produção (KAPPES et al., 2013).

A fonte mais utilizada no Brasil para fornecimento de nitrogênio para as culturas é a ureia. Do ponto de vista agrícola, a ureia tem como vantagens o elevado teor de nitrogênio (cerca de 45%), menor custo de transporte, alta solubilidade, menor corrosividade, compatibilidade com inúmeros fertilizantes e defensivos, pronta disponibilidade para as plantas e facilidade de manipulação, além de causar menor acidificação no solo, em relação a outros fertilizantes (YANO et al., 2005, MALAVOLTA, 2006).

2.3.1 Adubação Nitrogenada Na Cultura Do Milho

O N é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do milho, que é altamente responsivo ao seu fornecimento, pois interfere de forma positiva em várias características vegetativas e reprodutivas que influenciam a produção final (OHLAND et al., 2005; SANGOI, 2012). O papel fundamental do N é baseado nas ações metabólicas como a biossíntese de proteínas e de clorofilas, ou seja, da constituição estrutural das plantas de milho, sendo muito importante durante todo o ciclo da planta, tanto na fase vegetativa como reprodutiva (SANGOI et al., 2019b).

A adubação nitrogenada tem papel importante, principalmente, pela dificuldade de se avaliar a disponibilidade desse elemento no solo, devido às múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por microrganismos e afetadas por fatores climáticos de difícil mensuração (CANTARELLA; DUARTE, 2008).

Segundo Duarte et al. (2018), sua concentração média é de 14 g kg^{-1} de grãos, e se considerada a média de produtividade do Paraná de cerca de 7.000 kg ha^{-1} na primeira safra, geraria uma exportação de aproximadamente 100 kg ha^{-1} , considerando lavoura com finalidade para produção de grãos.

O N é mais exigido no que se refere a formação de potencial produtivo, a partir do período de diferenciação da inflorescência masculina em que a planta se encontra com 4 a 5 folhas até a emissão da oitava folha (RITCHIE et al. (1993), nesse período do ciclo é que a adubação de cobertura é realizada pois auxilia na expansão foliar, na formação de compostos como a clorofila, na manutenção das folhas fotossinteticamente ativas por mais tempo, no desenvolvimento das espigas e, conseqüentemente no potencial de grãos por planta (SANGOI et al., 2011).

Conforme Figueiredo et al. (2005), além da variação da absorção pela cultura em condições distintas de manejo do solo, o aproveitamento raramente ultrapassa 50% do nitrogênio aplicado como fertilizante mineral (LARA CABEZAS et al., 2004), em razão da aplicação via solo estar sujeita a perdas por lixiviação, escoamento superficial, desnitrificação, volatilização da amônia e pela imobilização na biomassa microbiana (ALVA et al., 2006).

As doses de N utilizadas nas últimas décadas têm aumentado. Inicialmente, os valores para o cultivo de sequeiro ficavam na faixa de 40 a 70 kg ha^{-1} , e apenas ultrapassavam os 100 kg ha^{-1} em caso de lavouras irrigadas (COELHO; FRANÇA, 1995). Mas no cenário atual, as cultivares possuem menor porte e maior eficiência de aproveitamento

do N fornecido permitindo a utilização de maiores doses de adubação nitrogenada nas lavouras.

Especificamente para o Estado do Paraná, consideram-se doses de até 340 kg de N por hectare posterior a gramínea e 280 kg de N por hectare posterior a leguminosa para a produção de grãos na primeira safra (verão), com produtividade esperada acima das 16 toneladas por hectare. No caso da segunda safra, de 210 e 140 kg de N por hectare, para o cultivo posterior a gramínea ou leguminosa, respectivamente, com produtividade de grãos esperada de mais de 12 toneladas por hectare, sendo que as doses são divididas de 10-15% no momento da semeadura e de 85-90% em pós-emergência, e essa última com possibilidade de parcelamento entre as fases de V4 e V8 (PAVINATO et al., 2017).

No caso da adubação nitrogenada para a cultura do milho, a determinação da dose a ser utilizada se dá pelo nível de tecnologia e investimento disponível para a lavoura em questão, sendo que doses acima de 200 kg ha⁻¹, consideradas altas, somente são praticadas em lavouras tecnificadas, em que a média produtiva ultrapassa as dez toneladas por hectare e o manejo de adubação é realizado de forma parcelada para evitar perdas excessivas devido a fatores ambientais (BORÉM; GALVÃO, 2015).

Segundo Cantarella e Duarte (2004), os ganhos de produtividade na cultura do milho vem sendo proporcionados, entre outros fatores, pelo aumento no uso de fertilizantes nitrogenados que, de acordo com Silva et al. (2006), é o elemento quantitativamente mais importante para a cultura. Ohland et al. (2005) afirmam que a cultura é altamente responsiva à adubação com N, apresentando respostas positivas sobre os componentes de rendimento e a produtividade de grãos. Raij (2011) ressalta que para a cultura do milho, a produção pode ser reduzida até pela metade, caso não seja realizada a adubação nitrogenada de cobertura.

Como o uso de nitrogênio é responsável pela promoção do crescimento e desenvolvimento vegetal, doses elevadas desse elemento podem resultar em crescimento excessivo indesejável ao manejo da cultura, ocasionando por vezes o acamamento e problemas na colheita da cultura, culminando em perdas de rendimento. De modo geral, o acamamento tem sido controlado mediante restrição da aplicação de fertilizantes nitrogenados e/ou o uso de cultivares de porte baixo. Porém esse efeito indesejável do nitrogênio pode ser amenizado pela aplicação do regulador de crescimento, como constatado por Zagonel, et al. (2002) para a cultura do trigo.

Kappes et al. (2013) alertam sobre a importância de se realizarem estudos avaliando a adubação nitrogenada, com o intuito de atualizar as recomendações técnicas e disponibilizar tecnologias que proporcionem produções economicamente satisfatórias. Cabe

ressaltar que altas doses podem ocasionar danos à cultura devido ao excessivo crescimento vegetativo, que prejudica as plantas com a ocorrência de autosombreamento, acamamento e quebraamento.

Portanto tecnologias de manejo devem ser testadas para que as doses altas de N que são favoráveis a produtividade de grãos, não sejam limitantes pelo estímulo exagerado do crescimento. Nesse contexto surge como opção o uso de reguladores de crescimento vegetal, tecnologia já amplamente adotada para os cereais de inverno no que se refere a prevenção dos problemas supracitados.

2.4 REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

São substâncias químicas de origem natural ou sintética que podem ser aplicadas diretamente para alterar os processos vitais ou estruturais, por meio de modificações no balanço hormonal das plantas (FERRARI et al., 2008). Eles atuam como sinalizadores químicos na regulação do crescimento e desenvolvimento de plantas. Normalmente ligam-se a receptores e desencadeiam uma série de mudanças celulares, as quais podem afetar a iniciação ou modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos vegetais (RADEMASCHER, 2015).

A ação dos reguladores de crescimento pode se dar de duas formas: direta, provocando mudanças físicas nas estruturas celulares ao interagir com elas ou, indireta, interferindo com o caminho metabólico que conduz a um determinado tipo de estrutura (HERTWIG, 1992).

Hormônios vegetais, como auxinas, citocininas e giberilinas são compostos reguladores de crescimento produzidos pelas plantas. As giberelinas estimulam tanto a divisão quanto a alongação celular (TAIZ et al., 2017). A ação mais evidente deste composto é observada no crescimento das plantas, especialmente no alongamento do caule (FLOSS, 2004). Em gramíneas as giberelinas atuam no alongamento dos entrenós, agindo no meristema intercalar, o qual está localizado próximo a base do entrenó, que produz células derivadas para cima e para baixo (TAIZ et al., 2017). Estes autores ainda afirmam que a Giberelina GA₁ é a forma biologicamente ativa, que regula a altura de diversas plantas, inclusive as de milho.

A denominação redutor e/ou inibidor de crescimento é utilizada pela indústria de agroquímicos para se referir a reguladores sintéticos de plantas, os quais são aplicados de forma exógena, sendo estes diferentes dos reguladores de crescimento endógenos (DAVIES, 2007). Os reguladores de crescimento normalmente são antagonistas às giberelinas

e agem modificando o metabolismo destas (TREHARNE et al., 1995; RAJALA; PELTRONEN-SAINIO, 2001).

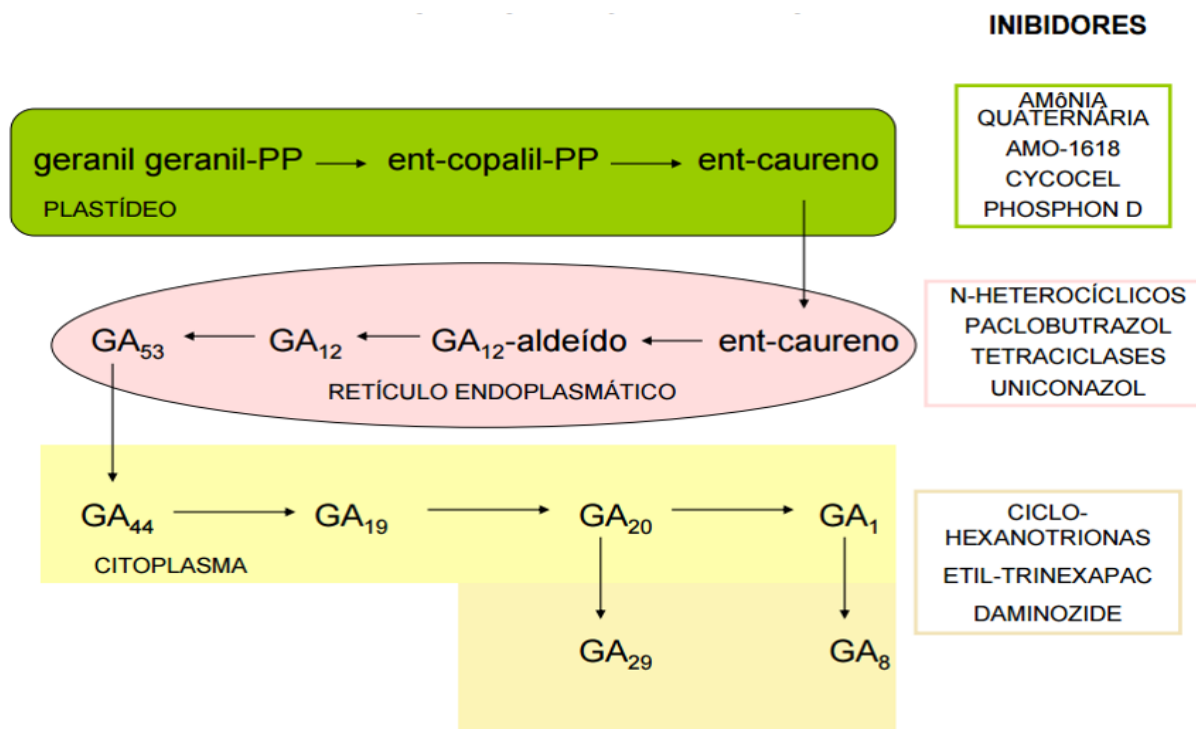
Dentre os reguladores de crescimento que atuam na rota de síntese da giberelina tem-se as amônias quaternárias, o paclobutrazol e o trinexapaque-etílico. Todos esses agem inibindo a síntese das giberelinas, se diferenciam porém com relação ao ponto em que interferem na rota. Em relação aos reguladores supramencionados, a ação se dá no plastídeo (ciclases), no retículo endoplasmático (P450 mono-oxigenases) e no citoplasma (dioxigenases), respectivamente (KERBAUY, 2004), como pode ser observado na Figura 2.3.1.

O trinexapaque-etílico é um dos reguladores vegetais que atua interferindo na biossíntese do ácido giberélico (HECKMAN et al., 2002). Age nas plantas reduzindo a alongação dos entrenós no estágio vegetativo, interfere no final da rota metabólica da biossíntese do ácido giberélico, pela inibição da enzima 3 β -hidroxilase, reduzindo drasticamente o nível do ácido giberélico ativo (GA_1) e, assim, aumentando seu precursor biossintético imediato GA_{20} (DAVIES, 1987).

Heckman et al. (2002), ainda afirmam que o uso de trinexapaque-etílico pode inibir parcialmente o transporte de elétrons nas mitocôndrias, reduzindo desta forma a respiração celular, o que indica uma outra função potencial para o uso deste composto.

Na sua formulação comercial, o produto Moddus[®] apresenta 250 g L⁻¹ de trinexapaque-etílico (4-ciclopropil (hidróxi) metileno-3,5-dioxociclohexano carboxilato de etila). O trinexapaque-etílico apresenta classe toxicológica III e formulação concentrada emulsionável. Nas plantas, é absorvido predominantemente pelas folhas e gemas terminais, sendo a absorção radicular muito limitada (SYNGENTA, 2020).

Figura 2.4.1 – Esquema da rota de biossíntese das giberelinas e a relação de reguladores de crescimento que atuam em cada fase. Kerbauy (2004).



A translocação é relativamente rápida e os sintomas de inibição do crescimento podem ser observados em até 48 horas após a aplicação. Atua seletivamente através da redução do nível de giberelina ativa, induzindo a planta a uma inibição temporária ou redução na taxa de crescimento, sem afetar o processo de fotossíntese, a integridade da gema apical e o volume de massa radicular (FREITAS et al., 2002).

2.4.1 Reguladores De Crescimento Vegetal Na Agricultura

A utilização de reguladores de crescimento torna as plantas mais tolerantes a fatores de estresse e, conseqüentemente, podem se desenvolver mais vigorosamente em tais condições, permitindo melhores chances de atingir seu potencial genético de produtividade (CASTRO; VIEIRA, 2001). Geralmente, os reguladores são aplicados com a finalidade de aumentar a produção e a qualidade ou facilitar a colheita (FERRARI et al., 2008). Podem ainda ser utilizados para reduzir o crescimento indesejável da parte aérea das plantas, sem reduzir sua produtividade (RADEMASCHER, 2015).

Sua atuação na fisiologia da planta altera características da arquitetura e

porte, facilita tratos culturais, reduz a propensão ao acamamento, propicia aumento de densidade, e redução de espaçamentos, além de aumentar a eficiência do uso de recursos como água e radiação solar e assim, aumentar a produtividade (ZAGONEL; FERREIRA, 2013, ZHANG et al. 2014).

O emprego crescente dos reguladores de crescimento como técnica agrônômica para otimizar as produções em diversas culturas tem se mostrado eficiente. Mundialmente os reguladores de crescimento vem ganhando espaço nos sistemas produtivos agrícolas. Na fruticultura, o uso da prohexadiona de cálcio na cultura da videira por Villar et al. (2011), proporcionou redução do crescimento dos ramos e incremento na produtividade de bagas.

Em crotalaria Kappes et al. (2011) observaram eficiência na redução no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, utilizando três reguladores de crescimento (cloreto de mepiquate, trinexapaque-etílico e paclobutrazol), em diferentes doses (0 a 300 g ha⁻¹).

Reguladores de crescimento como o trinexapaque-etílico podem ainda ser utilizados como maturadores na cana-de-açúcar (HEERDEN, 2014). Este é um regulador de crescimento seletivo, recomendado para aplicação na cultura da cana-de-açúcar, visando a aceleração dos processos de maturação da planta e acúmulo de sacarose no colmo. Na cultura da cana-de-açúcar, além de reduzir o porte das plantas e o acamamento, o trinexapaque-etílico também aumenta o rendimento de açúcar sem impacto negativo na qualidade do caldo, conteúdo de fibras e peso da cana (RESENDE et al., 2001; ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

Também foi relatada redução efetiva do porte de grama esmeralda por três reguladores de crescimento, sendo eles trinexapaque-etílico, prohexadione-calcium, bispyribac-sodium (MARCHI et al., 2013). O trinexapaque-etílico é também comumente usado em gramados visando reduzir seu crescimento, melhorar a qualidade, sua tolerância a pouca luz e o comprimento das raízes (BUNNEL; MCCARTY, 2004).

O feijoeiro também apresenta respostas morfológicas, como redução de porte, à aplicação de reguladores como cloreto de mepiquate e o trinexapaque-etílico. Em arroz verificou-se redução do porte, porém com efeito negativo sobre os componentes de rendimento e a massa de grãos da cultura (ALVAREZ et al., 2007).

Em cultivos de grãos, nos países europeus, os reguladores vegetais são utilizados como parte integral do sistema de produção visando reduzir riscos de acamamento das culturas devido excesso de chuvas e ventos (RADEMASCHER, 2015). De forma semelhante, Reddy et al. (1990) afirmam que o uso de reguladores vegetais se torna inevitável

para cultivos em áreas que apresentam condições de alta umidade e adequada disponibilidade de nutrientes. Em cevada, segundo Amabile et al. (2004), promove a redução da severidade de manchas foliares e aumenta o rendimento de grãos da cultura.

Redução de porte e alteração da arquitetura, foram observadas também no Brasil para a cultura do trigo, com utilização do regulador de crescimento trinexapaque-etílico que resultou em aumento de produtividade (ZAGONEL, 2002).

Em alguns casos, como relatado por Pagliosa et al. (2013), não foi verificado efeito do regulador de crescimento sobre a produtividade de grãos de trigo, e houve ausência de efeito sobre o crescimento das plantas em caso de restrição hídrica.

Em experimento realizado com a cultura da aveia branca e o regulador de crescimento trinexapaque-etílico, foi verificada a redução do porte das plantas, assim como diminuição da ocorrência de acamamento, sem prejuízos ao rendimento de grãos, no entanto, gerou redução do potencial germinativo das sementes produzidas (KASPARY et al., 2015; BAZZO et al., 2018).

Na cultura do algodoeiro, verificou-se que a aplicação de regulador vegetal cloreto de mepiquate, é eficiente em limitar o crescimento em altura, precocidade, além de proporcionar a maior produtividade. Resultado relatado por Ferrari et al. (2014), afirma que o rendimento do algodoeiro somente foi incrementado quando a aplicação do regulador cloreto de mepiquate foi realizada em duas aplicações e a cultura estava sob maior densidade e menor espaçamento entre linhas.

Campos (2005), em trabalhos com a aplicação de reguladores vegetais na cultura da soja, concluiu que estes podem ser excelentes ferramentas, podendo influenciar de forma positiva no número de ramificações, no florescimento, no número de vagens, no enraizamento, na área foliar e no teor de clorofila das folhas.

Penckowski (2009) verificou que a aplicação de trinexapaque-etílico em plantas de trigo incrementa os teores de celulose nas células das plantas tratadas. Segundo o autor, devido ao fato deste regulador proporcionar maior resistência das plantas ao acamamento, o uso deste tem permitido, em alguns casos, o uso de adubação nitrogenada mais elevada e, conseqüentemente, maior exploração da capacidade produtiva.

Para trigo, além da redução na altura, mesmo na ausência de acamamento o trinexapaque-etílico promoveu aumentos de rendimento devido a modificação na arquitetura foliar das plantas, deixando essas mais compactas e com melhor aproveitamento da interceptação da radiação solar (FERNANDES, 2009).

Conforme Penckowski (2009) em torno de 15 à 20 dias após a aplicação de

trinexapaque-etílico se faz possível observar em trigo, os efeitos do regulador sobre a inclinação das folhas, deixando estas eretas, o que resultará em melhor aproveitamento da radiação solar. O mesmo cita que trabalhos realizados com o uso de trinaxapac-ethyl e a simulação de diferentes níveis de sombreamento, mostrou que as plantas tratadas com o regulador mudaram sua arquitetura foliar e puderam aproveitar melhor a radiação, o que resultou em ganhos significativos de produtividade. Esse crescimento das folhas de trigo em resposta ao regulador também foi observado por Marco Júnior et al. (2013).

Segundo Hertwig (1992) o uso de reguladores inibidores de giberelinas pode aumentar o rendimento das culturas devido a redução do acamamento, devido ao encurtamento e engrossamento do caule das plantas tratadas, bem como, pelo crescimento radicular mais vigoroso e as folhas se tornar mais curtas, largas e horizontais. Barret (1992) também cita que estes inibidores proporcionam a redução dos internódios, sem reduzir seu número e o tamanho das folhas, as quais ficam mais verdes e fortes.

Devido sua forma de ação, o trinexapaque-etílico é muito utilizado em cereais proporcionando redução acentuada no comprimento do colmo, reduzindo assim a altura de plantas e evitando o acamamento, mesmo em condições de irrigação que promovem maior crescimento das plantas (NASCIMENTO et al., 2009; MARTINS, 2018).

A redução da suscetibilidade da cultura ao acamamento se deve ao encurtamento dos entrenós aliado a maior densidade dos tecidos o que proporciona melhor rigidez ao caule (FERNANDES, 2009; ESPINDULA et al., 2009). Esses resultados, observados principalmente em cereais, demonstram a potencialidade de uso de reguladores como o trinexapaque-etílico no manejo da cultura do milho.

2.4.2 Uso de Reguladores de Crescimento da Cultura do Milho

O cultivo do milho é altamente tecnificado e valoriza as inovações no sistema produtivo, visando ganhos em produção, entretanto, é necessário atenção aos reais ganhos com a incorporação de novos produtos ao sistema de produção (FERREIRA et al., 2007).

Trabalhos como os de Dourado Neto et al. (2004) e Ferreira et al. (2007), tratam do uso de reguladores vegetais na cultura do milho, com propósito de estímulo aos efeitos hormonais sobre a cultura. Ambos estudaram os efeitos do bioestimulante Stimulate®

(Citocinina + Ácido indol-butílico + Ácido giberélico) sobre a cultura do milho, sendo que somente o primeiro observou incrementos na produtividade, atribuído ao maior crescimento vegetativo.

Estudos com o uso de reguladores de crescimento são escassos para milho. Isto se deve possivelmente pelo fato de que na maioria das vezes, esses compostos são utilizados visando reduzir a possibilidade de acamamento, fato esse cada vez menos evidente no cultivo do milho, visto a disponibilização via melhoramento genéticos de genótipos mais adaptados com menor porte e maior resistência de colmos (GOMES et al., 2010).

Entretanto, modificações no arranjo de plantas como o aumento de densidade populacional e redução do espaçamento entre linhas favorecem a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, o estiolamento e a ocorrência de acamamento e, nesses casos o uso de reguladores de crescimento pode ser uma opção viável (SERPA et al., 2012).

Moro e Castro (1984) observaram redução na altura de plantas de milho com a aplicação de etefom (2-chloroethylphosphonic acid). Kasele et al. (1994) e Sagral e Parrish (1990), salientam a possibilidade de que em condições de seca o uso de reguladores de crescimento podem reduzir a evapotranspiração na cultura do milho. Castro e Kluge (1999), afirmam que é de se esperar que a aplicação de reguladores vegetais que reduzam a evapotranspiração em condições adequadas de suprimento de água, alterem positivamente o rendimento de grãos.

Em trabalho realizado por Guimarães et al. (2009), os autores estudaram duas épocas de aplicação e cinco doses de trinexapaque-etílico (0, 150, 225, 300, 375 g de i.a. ha⁻¹) na cultura do milho e constataram que as doses do regulador reduziram a altura das plantas e aumentaram o diâmetro do colmo, contudo, não foram observados benefícios em relação a massa de grãos por espigas, massa de mil grãos e produtividade.

Zhang et al. (2014) trabalharam com uma mistura de etefom e éter aminoetil hexanoato (DA-6) em dois híbridos e quatro densidades de plantas, e obtiveram aumento médio de 8% no rendimento, 4% no número de grãos por espiga e de 5% na massa de mil grãos. Observaram também aumento do acamamento com o acréscimo na densidade de plantas e o controle desse efeito quando aplicada a mistura (DA-6) contendo o regulador de crescimento etefom.

Schluttenhofer et al. (2011) ao trabalharem com milho para finalidade farmacêutica em condições de casa de vegetação, observaram efetividade na desejada redução de porte com a aplicação do regulador de crescimento uniconazole, porém houve também

decréscimo no rendimento de grãos nas plantas de milho, e estímulo ao perfilhamento.

Adebisi et al. (2002) utilizaram etefophon e trinexapaque-etílico na cultura do milho e verificaram efetividade dos reguladores em diminuir o porte das plantas e por consequência o acamamento, porém houve também redução no número de espigas, o que fez com que os tratamentos com reguladores não tivessem produtividade superior ao controle sem aplicação.

Zagonel e Ferreira (2013) avaliando o efeito do regulador de crescimento trinexapaque-etílico em diferentes doses e épocas de aplicação em dois híbridos de milho, constataram que a época de aplicação do trinexapaque-etílico não afetou características agronômicas e a produtividade dos dois híbridos de milho, porém houve aumento da largura e diminuição do comprimento das folhas com o incremento da dose do produto para um híbrido, sem efeitos substanciais nos componentes da produção e na produtividade.

Ferreira et al. (2014) trabalhando com dessecação e utilização do regulador de crescimento trinexapaque-etílico em pós emergência do milho, não observaram resposta para as características fitométricas em nenhum dos híbridos na primeira safra, porém com redução da área foliar do híbrido Maximus TLTG na segunda safra.

Pricinotto (2014), trabalhou com doses de trinexapaque-etílico (0 a 400 g i.a. ha⁻¹) e densidades populacionais (40 a 120.000 plantas ha⁻¹) de dois híbridos de milho, em espaçamento reduzido de 45 cm entre linhas, e relatou redução do porte das plantas de milho com o uso do regulador trinexapaque-etílico; o composto alterou ainda os componentes de produção, com destaque para o número de grãos por fileira que foi aumentado, porém houve redução na massa de grãos. Além disso o autor relata que houve incremento na produtividade da cultura quando se utiliza o redutor de crescimento em conjunto com maiores densidades populacionais, de cerca de 90.000 plantas por hectare.

Pricinotto et al. (2015), relataram também para a cultura do milho, em condição de casa de vegetação, que o regulador trinexapaque-etílico não alterou o ciclo do milho, incrementou o índice de clorofila e o diâmetro do colmo, reduziu porém a altura das plantas e a produção de grãos por planta. Os autores comentam ainda a possibilidade de novos arranjos de plantas para a cultura com a redução de porte proporcionada pelo regulador vegetal. Barbosa et al., 2017, também verificaram alterações no crescimento das plantas de milho em casa de vegetação, em resposta a aplicação do redutor de crescimento, concordando com as informações supramencionadas.

Pricinotto et al. (2019), utilizaram o trinexapaque-etílico na cultura do milho e relataram redução na altura de plantas e de inserção da espiga. A interação de

população de plantas e redutor de crescimento favoreceu a produtividade do milho, com populações de aproximadamente 90.000 plantas e 170 a 250 g ha⁻¹ de trinexapaque-etílico para dois híbridos de milho com arquiteturas foliares distintas.

Fagherazzi (2015) trabalhou com o regulador trinexapaque-etílico, em estádios fenológicos e cultivares distintas, relata modificação na altura da planta de milho com o incremento na dose do regulador em determinados estádios onde se realizou a aplicação, sendo a menor altura observada na aplicação da maior dose no estádio V7. Além disso houve redução comprovada do acamamento em resposta a aplicação do regulador trinexapac ethyl.

Em condições de campo, foram verificadas respostas do redutor de crescimento trinexapaque-etílico sobre o desempenho produtivo de milho verão, com alterações combinadas a épocas de semeadura, ambientes de cultivo e genótipos, assim como, uma direta relação com a densidade de plantas, sendo possível adensar até certo ponto a lavoura de milho quando se faz uso desta tecnologia em campo (BARBOSA, 2016 e LEOLATO, 2017).

Mendes Fagherazzi et al. (2018) ao utilizar o trinexapaque-etílico em diferentes fases de desenvolvimento do milho e aplicações sequenciais em diferentes estádios, concluíram que após o estádio V6 as plantas são altamente sensíveis ao trinexapaque-etílico, sendo indicadas as aplicações após essa fase com o intuito de redução de porte das plantas e controle de seu desenvolvimento vegetativo.

Oliveira et al. (2018), não verificaram efeito significativo do trinexapaque-etílico sobre a produção de grãos na cultura do milho, no entanto foi percebida redução de aproximadamente 12% na altura das plantas, demonstrando novamente a efetividade do redutor de crescimento sobre a cultura.

Considerando a problemática abordada, é notória a necessidade de pesquisas que possam identificar o real potencial do uso de redutores de crescimento na cultura do milho, principalmente em condições de maior investimento e maior potencial produtivo, que geralmente estão associados ao uso de maiores densidades de plantas, maiores doses de nitrogênio em cobertura, e aplicações sequenciais deste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIARES, H. A.; ZULUAGA, M. S. Effect of plant row spacing and herbicide use on weed aboveground biomass and corn grain yield. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, p. 287-293, 2006.

ADEBISI, M. A.; SALAU, A. W.; SOSANYA, O. S. Effects of growth regulations on growth and seed yield of maize (*Zea mays*) under tropical rain-fed condition. **Moor Journal of Agriculture Research**, v. 3, n. 1, p. 30-36, 2002.

AITA, C.; JOSÉ, S.; PAULO, A. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 3, p. 95–102, 2007.

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A& L Publication, 1982. 371 p.

ALMEIDA, M. L.; JUNIOR, A. M.; SANGOI, L. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.23-29, 2000.

ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J.A.; MATTOS JR, D. & SAJWAN, K. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. **Journal of Crop Improvement**, v.15, p.369-420, 2006.

ALVAREZ, R. C. F., CRUSCIOL, C. A. C., TRIVELIN, P. C. O., RODRIGUES, J. D., ALVAREZ, A. C. C. Influência do etil-trinexapac no acúmulo na distribuição de nitrogênio (15 n) e na massa de grãos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 1487–1496, 2007.

AMABILLE, R.F.MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento Trinexapac-etil em cevada cervejeira irrigada em áreas de cerrado do Distrito Federal**. Platina: Embrapa Cerrados, 2004. 14p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 120).

AMARAL FILHO, J. P. R. D.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, s/n, p. 467-473, 2005.

ANDRADE, A.C., FONSECA, D. M., QUEIROZ, D. S., SALGADO, L. T., CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p.1643-1651, 2003 (Edição Especial).

ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, v.41, p.1-12, 1995.

ARAÚJO, A. V.; BRANDÃO JUNIOR, D. S.; FERREIRA, I. C. P. V.; COSTA, C. A.; PORTO, B. B. A. Desempenho agrônômico de variedades crioulas e híbridos de milho

- cultivados em diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 885-892, 2013.
- ARGENTA, G. SILVA, P. D., BORTOLINI, C. G., FORSTHOFER, E. L., MANJABOSCO, E. A., e BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.71-78, 2001a.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p. 1075-1084, 2001b.
- ARRIEL, F. H., PIMENTA NETO, A.M., VENTURA, G. S., CINTRA, P. H. M. Desempenho Agronômico Do Milho Em Função Do Espaçamento Entrelinhas E Estande De Plantas. **Científica Multidisciplinary Journal**, v. 6, n. 1, p. 34–48, 2019.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 245-252, 2005.
- BARBOSA, A. P., ALVES, L. A. R., BERTONCELLI, D. J., FURLAN, F. F., ALVES, G. A. C., BAZZO, J. H. B., ZUCARELI, C. Desempenho fitométrico do milho sob efeito de doses de trinexapac-ethyl e clomazone Phytometric performance of corn on the effect of doses of. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 279–285, 2017.
- BARBOSA, A. P. **Regulador de crescimento no sistema produtivo do milho**. 122 p. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina-PR, 2016.
- BARBOSA, A. P.; ZUCARELI, C.; TSUKAHARA, R. Y.; KOCHINSKI, E. G.; BAZZO, J. H. B. Reaplicação de nitrogênio na mitigação do efeito da desfolha em diferentes fases fenológicas do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 30–46, 2019.
- BARRET, J.E. Mecanisms of action, in: Tips on the use of chemical growth regulators on floriculture crops. Ohio, **Ohio Florists Association**, p. 12-18. 1992.
- BATISTA, V. V.; OLIGINI, K. F.; GIARETTA, R.; RABELO, P. R., ADAMI, P. F., LINK, L. Densidade de plantas e doses de nitrogênio no cultivo de milho safrinha no Paraná. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 296–307, 2019.
- BAZZO, J. H. B. et al. Physiological quality of seeds of white oat cultivars in response to trinexapac-ethyl application. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 636–643, 2018.
- BEN, L. H. B.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; SILVA, G. U. DA. Influence of irrigation levels and plant density on "second-season" maize. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 665–676, 2016.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2014, 81p.

BLOOM, A. J., SUKRAPANNA, S. S., e WARNER, R. L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiology**. v. 99, p. 1294-1301, 1992.

BORÉM, A. e GALVÃO, J. C. C. E. P. (Ed.). **Milho do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 158 p.50-76, 2015.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. D. S.; CRUZ, S. C. S.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.

BÜLL, L. T. (1993) Nutrição do milho. In: BÜLL, L. T., CANTARELLA, H. (eds). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, p. 71-104.

BUNNELL, B.T.; MCCARTY, L.B. Sunlight requirements for ultradwarf Bermuda grass greens. **Golf Course Management**, v. 72, n. 8, p. 92-96, 2004.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N. e TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011.

CAMPOS, M. F. **Efeitos de reguladores vegetais no desenvolvimento de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2005. 126p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu. 2005.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C. & MIRANDA, G.V., eds. **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: Fancelli, A. L. (ed). **Milho - Nutrição e adubação**. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 36-55.

CASA, R. T.; MOREIRA, E. N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, n. 4, p. 353-357, 2007.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 126p.

CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 588p.

COELHO, A. E., SANGOI, L., CASA, R. T., KUNESKI, H. F., PANISON, F., LEOLATO, L. S., DURLI, M. M., BERGHETTI, J. Sanidade de híbridos de milho em função da época de semeadura, doses de N em áreas com e sem rotação de culturas. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 101-113, 2019.

COELHO, A. M. e FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho. Arquivo do agrônomo nº 2. 2ª edição ampliada e modificada. **POTAFOS**. 1995.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2006. Circular técnica, n.78.

CONAB. COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2018/2019: primeiro levantamento, outubro de 2019**. Brasília, 2019. 114p.

CONAB. COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2019/2020: primeiro levantamento, março de 2020**. Brasília, 2020. 94p.

CONTINI, E., MOTA, M. M., MARRA, R., BORGHI, E., MIRANDA, R. A., SILVA, A. F., SILVA, D. D., MACHADO, J. R. A., COTA, L. V., COSTA, R. V., MENDES, S. M. **SÉRIE DESAFIOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos**. [Brasília-DF], 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2020.

CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, J. A.; PINTO, L. B. B.; QUEIROZ, L. R. **Caracterização dos sistemas de produção de milho para altas produtividades**. Sete Lagoas, MG, dezembro de 2009. 15p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho - Cultivares para 2013/2014**. Sete Lagoas, 2016. Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/> >. Acesso em: 03 de fevereiro de 2018.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C. D.; MAGALHÃES, P. C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2010.

DAVIES, P.J. Introduction: The plant hormones: Their nature, occurrence, and Functions. In: -----. **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** 3.ed. Dordrecht: Springer, 2007. p. 1-6.

DAVIES, P.J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: -----. **Plant hormones and their role in plant growth and development**. Netherlands: Kluwer Academic, 1987, p. 1-23.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O. e CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DOURADO NETO, D. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 03, 2010.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; JÚNIOR, P. A. V.; MANFRON, P. A., MARTIN, T. N., BONNECARRÉRE, R. A. G.; CRESPO, P. E. N. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2004.

- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001, p. 120-125.
- DUARTE, A. P.; ABREU, M. F.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. **Informações agronômicas**, v. Set., n. 163, p. 10–16, 2018.
- EMYGDIO, B. M.; TEIXEIRA, M. C. C. **Densidade de plantas e espaçamento entre linhas para o híbrido de milho BRS 1015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 8p. (Circular Técnica, 72).
- Epstein, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 50, s/n, p. 641-664, 1999.
- ERNANI, P. R. (2003) **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 76p.
- ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T. DE. Efeitos de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 109–116, 2010.
- ESPINDULA, M.; ROCHA, V. S.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, M. A.; SOUZA, L. T.; FAVARATO, L. F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009.
- FAGHERAZZI, M. M. **Respostas morfo-agronômicas do milho a aplicação de trinexapac-ethyl em diferentes estádios fenológicos e doses de nitrogênio**. 2015. 93p. (Mestrado). Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.
- FANCELLI, A. L. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI Brasil, 16p. 2010.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Maize in human nutrition**. 1992, 3p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E01.htm>. Acesso em: 07 de julho de 2018.
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FILHO, D. F. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 21–27, 2012.
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 21–27, 2012.
- FERNANDES, A. C. **População de plantas e regulador de crescimento afetando a produtividade de cultivares de trigo**. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - PR, 2009.

- FERRARI, J. V.; FURLANI JÚNIOR, E.; FERRARI, S.; LUQUES, A. P.; DOS SANTOS, D. M.; BENKE, F. Growth and cotton yield over row spacing and growth regulator. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 9, n. 3, p. 359-364, 2014.
- FERRARI, S.; JÚNIOR, E. F.; FERRARI, J. V.; SANTOS, M. L.; DOS SANTOS, D. M. A. Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função de espaçamentos e aplicação de regulador de crescimento. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 365-371, 2008.
- FERREIRA, C.; ZAGONEL, J.; SENGER, M.; DE SOUZA, A. C. Dessecação em pré-semeadura e modos de aplicação de herbicidas em pós-emergência combinados ou não a regulador de crescimento em híbridos de milho. **Revista Eixo**, Brasília, v. 3, n. 1, 2014.
- FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; VON PINHO, E. V. R.; QUEIROZ, D. D. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.
- FIGUEIREDO, C. C. DE; VITAL, D.; RESCK, S.; CARLOS, A.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado Management systems on nitrogen absorption by corn in na Oxisol in the Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, n. 1, p. 279–287, 2005.
- FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 25-31, 2004.
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 1.ed. Autor. Passo Fundo, 2004. 528p.
- FONTOURA, C. & BAYER, S. M. V. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1721–1732, 2009.
- FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007, 574 p.
- FREITAS, F.C.L., FERREIRA, L.R., SILVA, A., BARBOSA, J.G., MIRANDA, G. Effects of Trinexapac-ethyl on the Grow thand Flowering of the Bahiagrass. **Planta Daninha**, v. 20, n. 312, p. 477–486, 2002.
- GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E. e FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 819-828, 2014.
- GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R. e FONSECA, I. C. D. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 700-707, 2014.
- GOMES, L. S. BRANDÃO, A. M., BRITO, C. H., MORAES, D. F., LOPES, M. T. G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 140–145, 2010.

- GONÇALVES, M. L. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em função de espaçamentos e densidades populacionais em três locais**. 2008. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR, 2008.
- GONZALEZ, V. H., M. TOLLENAAR, A. BOWMAN, B. GOOD, E E. A. LEE. Maize yield potential and density tolerance. **Crop Science**. 58:472-485, 2018.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertilizer applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Durban, v. 74, p. 109-113, 2000.
- GUIMARÃES, F.S. **Doses e época de aplicação de regulador de crescimento na cultura do milho**. XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP. São José do Rio Preto-SP. 2009. Disponível em: < http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_02000476120.pdf> Acesso em: 11 jul. 2018.
- GUTIERREZ, M. A. **Microclima e características agrônômicas em diferentes espaçamentos e populações na cultura do milho**. 2010. 76p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal-SP, 2010.
- HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN, R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.
- HEERDEN, P. D. R. VAN. Evaluation of Trinexapac-ethyl (Moddus®) as a New Chemical Ripener for the South African Sugarcane Industry. **Sugar Tech**, v. 16, n. 3, p. 295–299, 2014.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.
- HERTWIG, K.V. **Manual de herbicidas desfolhantes, dessecantes e fitorreguladores**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1992. 480p.
- HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCOPIO, S. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. DE. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina, 2012.
- IGLESIAS, Rafael. **Agricultor norte-americano bate recorde mundial de produtividade de milho**. [Pelotas], 2019. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/agricultor-norte-americano-bate-recorde-mundial-de-productividade-de-milho>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- JOHNSON, G.A.; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; CHIODEROLI, C. A.; KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamento reduzido e tradicional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 677-686, 2010.

KAPPES, C. **Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas**. 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. D. C.; ARF, O., OLIVEIRA, Â. C. D., ARF, M. V. e FERREIRA, J. P. Arranjo de plantas par diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p.348-359, 2011.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiânia, v.37, n.5, p.1310-1321, out. 2013.

KAPPES, C.; ARF, O.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R. e GONZAGA, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2014.

KASELE, I. N.; NYIRENDA, F.; SHANAHAN, J. F.; NIELSEN, D. C. e D'ANDRIA, R. Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 2, p. 283-288, 1994.

KASPARY, T.E., LAMEGO, F.P., BELLÉ, C., KULCZYNSKI, S.M. e PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade de sementes de aveia-branca. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**, Guanabara Koogan. Rio de Janeiro: 2004, 453p.

LANA, M. D. C.; JÚNIOR, P. P. W.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; AVILA, M. R. e ALBRECHT, L. P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 433-438, 2009.

LANA, M. D. C.; RAMPIM, L.; OHLAND, T.; FÁVERO, F. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in an Oxisoil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 424-433, 2014.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1005-1013, 2004.

LEA, P. J., BLACKWELL, R. D., e JOY, K. W. (1992) Ammonia assimilation in higher plants. In **Nitrogen Metabolism of Plants** (Proceedings of the Phytochemical Society of Europe 33), K. Mengel and D. J. Pilbeam, eds., Clarendon, Oxford, pp. 153–186.

LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 997–1005, 2017.

LINS, F. J. A.; FERREIRA, P. V.; ASSUNÇÃO, M. C.; FERREIRA, D. Crescimento de

genótipos experimentais de milho em função de doses crescentes de nitrogênio. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 2, p. 19–27, 2017.

MAGALHÃES, Paulo César; DURÃES, Frederico O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Circular Técnica, 76).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MARCHÃO, R. L., BRASIL, E., XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado: **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M. e GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARCHI, S. R.; MARTINS, D.; COSTA, N. V. E SILVA, J. R. V. Efeito de Reguladores Vegetais sobre o Crescimento e o Florescimento de Grama-Esmeralda. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 695–703, 2013.

MARCO JUNIOR, J., CORREA, D., NAKAI, E. H. Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl na produtividade de trigo. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.1, p. 14-19, 2013.

MARTINS, J. T. **Doses e épocas de aplicação de etil-trinexapac em arroz de terras altas irrigado por aspersão**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2018.

MELO, F. D. B.; CORA, J. E.; CARDOSO, M. J. Nitrogen fertilization, plant density and maize yield cropped under no-tillage system. **Revista Ciência agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.

MENDES FAGHERAZZI, M.; SOUZA, C. A.; STEFEN, D. L. V.; ZANESCO, P.R.; JUNKES, G.V.; COELHO, C.M.M.; SANGOI, L. Sensibilidade fenológica de dois cultivares de milho a trinexapac-ethyl. **Planta Daninha**, v. 36, n. April, 2018.

MIRANDA, R. A. DE; PARENTONI, S.; SANTANA, D. P.; ALVES, E. Supersafra de milho e o papel da tecnologia no aumento da produção. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXVIII, n. 2, p. 149–150, 2019.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília - DF: 2009.

MORO, J. R.; CASTRO, P. R. C. Ação de reguladores vegetais na morfologia e produtividade do milho (*Zea mays L.*). **Revista de Agricultura**, v. 59, n. 3, p. 301-311, 1984.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 51p.

NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; RODRIGUES, J. G. L.; FURTADO, M. B.; CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, s/n, p. 193-201, 2011.

- NASCIMENTO, V.; ARF, O.; SILVA, M. G.; BINOTTI, F. F. D. S.; RODRIGUES, R. A. F. e ALVAREZ, R. D. C. F. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 921-929, 2009.
- OHLAND, R. A. A., SOUZA, L. C. F., HERNANI, L. C., MARCHETTI, M. E., GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.
- OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C. e ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, p. 226-244, 2011.
- OLIVEIRA, V. D. L.; COELHO, A. E.; BASÍLIO, A. F. Características morfológicas do milho devido ao uso de regulador de crescimento e doses de nitrogênio. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega**, v. 15, n. 15, p. 854-867, 2018.
- OTTMAN, M. J.; WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**. Madison, v. 81, n. 2, p. 167-174, 1989.
- PAGLIOSA, E. E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C. L.; MARCHESE, J. A. E MARTIN, T. N. Trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization rates in wheat crop. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 623-630, 2013.
- PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.
- PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1978.
- PAVINATO, P. S., PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V., MOREIRA, A., MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2017.
- PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L. e FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 56-60, 2003.
- PENCKOWSKI, L.H. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: Aspectos importantes para garantir bons rendimentos**. 2ed. Passo Fundo: Fundação ABC. 2009, 60p.
- PEREIRA, F. R. D. S.; CRUZ, S. C.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R. e SILVA, E. T. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 69-74, 2008.
- PIANA, A. T.; SILVA, P. D.; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; SERPA, M. D. S. e JANDREY, D. B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008.
- PIONEER. **Híbrido marca Pioneer® bate recorde mundial de produtividade**. 2016. Disponível em: < <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/hibrido-marca-pioneerr-bate>

recorde-mundial-de-productividade>. Acesso em 05 maio 2019.

PRICINOTTO, L. F. **Densidades populacionais e regulador de crescimento em híbridos de milho com diferentes arquiteturas**. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Yield and biometric characteristics of maize submitted to plant population and trinexapac-ethyl doses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 667–678, 2019.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B.; OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 14, p. 1735-1742, 2015.

RADEMASCHER, W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulators**, v. 34, p. 845-872, 2015.

RAIJ, B. V. (2011) **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p.

RAJALA, A.; PELTONEN-SAINIO, P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 5, n. 93, p. 936-943, 2001.

REDDY, V. R.; REDDY, K. R.; HODGES, H. F. Temperature and mepiquat chloride effects on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 2, p. 190-195, 1990.

RESENDE, P. A. P.; SOARES, J. E.; HUDETZ, M. Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brasil. **International Sugarcane Journal**. Londres, v. 103, n. 1225, p. 2-6, 2001.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C. e FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.

RITCHIE, S. W. HANWAY, J. J.; BENSON, G. O.; HERMAN, J. C. **How a corn plant develops**: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service 1993.

RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, 1994.

ROCHA, D. R. D.; FORNASIER FILHO, D.; BARBOSA, J. C. Effects of plant density on yield of green ears of corn cultivars. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 392-397, 2011.

ROSSATO JÚNIOR, J. A. D. S.; CAZETTA, D. A.; BARBOSA, J. C. e FORNASIERI FILHO, D. Popping expansion and yield responses of popcorn cultivars under different row spacings and plant populations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 12, p. 1538-1545, 2013.

- SAGARAL, E. G.; PARRISH, D. J. **Effects of ethephon and triggrr on the growth and yield of corn**. Annual meeting of the plant growth regulation society of America, v. 17, 1990. 123p.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel. 87p. 2010.
- SANGOI, L. Estratégias de manejo do arranjo de plantas de milho, in: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. (Eds.). **Diversidade e inovação na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônômico/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012a. p.197-214.
- SANGOI, L. Estratégias de manejo do arranjo de plantas de milho, in: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. (Eds.). **Diversidade e inovação na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônômico/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012a. p.197-214.
- SANGOI, L., SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2007. 95p.
- SANGOI, L. Fisiologia do crescimento e desenvolvimento de milho, in: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. (Eds.). **Diversidade e inovação na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônômico/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012b. p.174-196.
- SANGOI, L. Fisiologia do crescimento e desenvolvimento de milho, in: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. (Eds.). **Diversidade e inovação na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto agrônômico/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012b. p.174-196.
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2001a.
- SANGOI, L.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C., Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 3, p. 259-267. 2002.
- SANGOI, L.; PANISON, F.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. L. Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 61–73, 2019b.
- SANGOI, L., SCHMITT, A., DURLI, M. M., LEOLATO, L. S., COELHO, A. E., KUNESKI, H. F., OLIVEIRA, V. L. Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 47–60, 2019a.
- SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T. e SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2010. 87p.

SANTOS, Bruno. **Sinal verde para a produção de etanol de milho no Brasil**, 2016. Disponível em: < <http://sfagro.uol.com.br>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

SCHLUTTENHOFER, C.; MASSA, G.; MITCHELL, C. **Use of uniconazole to control plant height for an industrial/pharmaceutical maize platform**. [s.l: s.n.]. v. 33., 2011.

SERPA, M. S.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. e MARCHESI, D. R. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro: **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 541-549, 2012.

SILVA, E. C., MURAOKA, T., BUZETTI, S., TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; ESPINAL, F. S. C. E TRIVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. especial, p. 2853–2861, 2008.

SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. P. M.; ANDRADE, V. M. S. d.; ARAUJO, S. G. d. A. Época de semeadura do milho para a região de Sete Lagoas, MG, baseada na probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 454-458, 2010.

SILVA, P.R.F. SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64p.

SILVA, R. R. D.; THEODORO, G. D. F., DE LIBÓRIO, C. B. e PESSOA, L. G. A. Effect of crop density of two genotypes of maize in the severity of gray leaf spot and yield in the second season crop. **SEMINA Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1449-1453, 2012.

STACCIARINI, T. D. C. V. DE CASTRO, P. H. C., BORGES, M. A., GUERIN, H. F., MORAES, P. A. C. e GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agrônômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 516-519, 2015.

SYNGENTA. **Moddus® – Regulador de crescimento**. [São Paulo], 2020. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/product/crop-protection/regulador-de-crescimento/moddus>. Acesso em: 12 abr. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANAKA, M. A. S.; FREITAS, J. G. E MEDINA, P. F. Incidência de doenças fúngicas e sanidade de sementes de trigo sob diferentes doses de nitrogênio e aplicação de fungicida. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 4, p. 313–317, 2008.

TOKATLIDIS, I. S.; HAS, V.; MELIDIS, V.; HAS, I.; MYLONAS, I.; EVGENIDIS, G. e FASOULA, V. A. Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use

efficiency in rainfed and irrigated conditions. **Field Crops Research**, v. 120, n. 3, p. 345-351, 2011.

TOLLENAAR, M.; CULLOUGH, D. E.; DWYER, L.M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994, p.183-236.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J. e LOSS, A. Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, p. 451-459, 2015.

TREHARNE, K. J.; CHILD, R. D.; ANDERSON, H. e HOAD, G. V. Growth regulation of arable crops. **Plant growth substances**, Berlin: Springer-Verlag, p.343-374, 1995.

United States Department of Agriculture. **World agricultural production**. [EUA], 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. D. A. DE C.; COSTA, A. G.; SILVA, T. R. DA. Predição De Níveis De Nitrogênio Aplicados À Cultura Do Milho Utilizando Imagens Digitais. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 227–236, 2019.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; BERNARDES, M. S.; FANCELLI, A. L.; MANFRON, P. A. E MARTIN, T. N. Metodologia para estimativa da área foliar de genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 182–191, 2006.

VILLAR, L.; BRIGHENTI, A. F.; CIPRIANI, R.; LIMA, A.; SILVA, D. A. Prohexadiona de cálcio e a redução do vigor, produtividade e qualidade da uva grano d'oro and quality of grano d'oro grapevines. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. especial, p. 536–540, 2011.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R. e LIMA, A. S. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 135–149, 2013.

WEISMANN, M. **Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno**. 38p. 2008. Disponível em: <www.atividaderural.com.br>. Acesso em: 23 de julho de 2018.

YANO, G. T., TAKAHASHI, H. W., WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 2, p.141-148, 2005.

ZAGONEL, J., VENANCIO, W. S., KUNZ, R. P., TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de 199 plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v. 23, n. 1, p. 25-29, 2002.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Rates and times of growth regulator application on corn hybrids. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P. e TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 25-29, 2002.

ZHANG, Q.; ZHANG, L.; EVERS, J.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, W.; DUAN, L. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator, **Field Crops Research**. v. 164, p.82-89,2014.

ZUCARELI, C.; PIAZZOLI, D.; SAPUCAY1, M. J. L. D. C.; PRANDO, A. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. et al. Plant density and topdressing nitrogen fertilization on development and productive performance of maize. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 178–191, 2019.

3 ARTIGO A

Redutor de crescimento e doses de nitrogênio no desempenho agronômico do milho primeira safra

3.1 Resumo - A cultura do milho, com alto nível tecnológico, emprega fatores produtivos que estimulam o crescimento vegetativo excessivo das plantas, como elevadas doses de nitrogênio. O redutor de crescimento pode por meio da redução de porte e alterações na arquitetura do dossel das plantas favorecer a resposta aos fatores de produção e a estabilidade na produção de grãos. No entanto, por se tratar de uma tecnologia recente, são necessários resultados consistentes considerando ambientes de cultivo do milho. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do uso de redutor de crescimento associado a doses de nitrogênio em cobertura sobre o crescimento e o desempenho produtivo do milho cultivado na 1ª safra. Foram conduzidos dois experimentos na safra de verão em ambientes com características edafoclimáticas contrastantes (Londrina e Faxinal, ambas no Paraná). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, sendo dois níveis de redutor (com e sem o trinexapaque-etílico) aplicado em V6 na dose de 400 g i.a ha⁻¹ e cinco doses de nitrogênio (N) em cobertura (100; 150; 200; 250 e 300 kg ha⁻¹), aplicadas em V4 e V6, com 4 repetições. Foram avaliadas características fitométricas (altura de planta, altura de inserção de espiga, diâmetro de colmo, índice de área foliar e condutância estomática), componentes de rendimento (número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de mil grãos) e a produtividade de grãos. Os dados foram submetidos a ANOVA e quando constatada significância, a condição de redutor de crescimento foi comparada por teste F, e já as doses de nitrogênio foram analisadas pelo teste de regressão até segundo grau, todos os testes com p<0,05. O desempenho agronômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento e pelas as doses de nitrogênio em cobertura, para os dois ambientes de cultivo. Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapac-ethyl e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos. O emprego do redutor de crescimento permite o uso de doses de cerca de 220 kg ha⁻¹ de N em cobertura sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho para o cultivo em Londrina. Para a condição sem aplicação de redutor de crescimento, em ambos os locais, a adubação nitrogenada favoreceu a produtividade de grãos até cerca de 165 kg ha⁻¹ de N. A produtividade de grãos é correlacionada positivamente com os componentes de rendimento e esses dependem do equilíbrio entre crescimento da planta e formação de estruturas reprodutivas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; adubação nitrogenada; fitorreguladores; trinexapac-ethyl.

Growth reducer and nitrogen doses in the agronomic performance of corn first crop

3.2 Abstract – The corn with high level technology employs productive factors that stimulate excessive vegetative growth, such high doses of nitrogen. The growth reducer can, by reducing size and changes in the canopy architecture of plants, favor the response to production factors and stability in grain production. However, as it is a recent technology, consistent results are needed considering corn growing environments. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the influence of the use of growth reducer associated with doses of nitrogen in coverage on the growth and productive performance of corn cultivated in

the 1st harvest. Two experiments were carried out in the summer harvest in environments with contrasting edaphoclimatic characteristics (Londrina and Faxinal, both in Paraná State). The experimental design was randomized blocks, in a 2 x 5 factorial scheme, with two levels of reducer (with and without trinexapac-ethyl) applied in V6 at a dose of 400 g a.i ha⁻¹) and five doses of nitrogen in coverage (100, 150, 200, 250 and 300 kg ha⁻¹ of N), applied in V4 and V6, with 4 replications. Phytometric characteristics (plant height, height of ear insertion, stem diameter, leaf area index and stomatal conductance), yield components (number of rows per ear, number of grains per row, number of grains per ear and thousand grain mass) and grain yield. The data were submitted to ANOVA and when found significant, the condition of growth reduction was compared by F test, and the nitrogen doses were analyzed by the regression test up to the second degree, all tests with p < 0.05. The agronomic performance of corn is altered by the growth reducer and by the nitrogen doses in cover, for both cultivation environments. There is less vegetative growth of corn plants due to the use of trinexapac-ethyl and this reflects positively on the performance of the yield components and grain yield. The use of the growth reducer allows the use of doses of about 220 kg ha⁻¹ of nitrogen in coverage without the negative effect of the excessive vegetative growth of the corn plants for cultivation in Londrina. For the condition without application of growth reducer, in both places, nitrogen fertilization favored grain yield up to about 165 kg ha⁻¹ of N. Grain yield is positively correlated with yield components and these depend on the balance between plant growth and the formation of reproductive structures.

Keywords: *Zea mays* L.; Nitrogen fertilization; phytoregulators; trinexapac-ethyl.

3.3 Introdução

O milho é uma cultura de importância global, com expressão em área, produção, produtividade e consumo. Sendo o cereal mais produzido no mundo, único que superou 1 bilhão de toneladas, porém a produtividade média de grãos gira em torno de 5 toneladas por hectare, que está muito aquém ao potencial produtivo já obtido para a cultura de cerca de 38,5 toneladas por hectare (USDA, 2020; IGLESIAS, 2019).

Para obtenção de tamanha relevância no cenário mundial, diversas técnicas de cultivo são utilizadas com intuito de promover melhoras na produtividade de grãos, como genótipos de maior potencial produtivo, uso de maior densidade de plantas por área, uso de maiores doses de fertilizantes, principalmente os nitrogenados.

Atualmente nas lavouras de milho, o arranjo de plantas adensado, combinado a altas doses de adubação nitrogenada, tem beneficiado o rendimento de grãos, devido ao aspecto fisiológico que destacam a planta de milho quanto a eficiência na produção de biomassa. (HIRAKURI et al., 2012; SANGOI et al., 2019).

Melhoria na produtividade da cultura do milho também tem sido verificada com a utilização da adubação nitrogenada, devido ao nitrogênio (N) ser um nutriente essencial e fazer parte de uma ampla gama de compostos orgânicos que fazem parte de rotas

metabólicas primárias e secundárias das plantas (KAPPES et al., 2014).

Deste modo, maiores doses de N, combinadas com cultivares modernos de milho que apresentam maior potencial produtivo, se mostram como uma boa combinação quando se deseja um incremento na produtividade de grãos da cultura (LANA et al., 2014). Segundo Duarte et al. (2018), a concentração média de N nos grãos de milho é de 14 g kg^{-1} , e se considerada a média de produtividade do Paraná de cerca de 7.000 kg ha^{-1} na primeira safra, geraria uma exportação de aproximadamente 100 kg ha^{-1} , considerando lavoura com finalidade para produção de grãos.

Destaca-se porém, que existem recomendações de até 340 kg ha^{-1} de N para a cultura do milho, considerando lavouras de potencial produtivo acima de 10 t ha^{-1} , e cultivos realizados após gramíneas (PAVINATO et al., 2017). Essas doses maiores são necessárias para manutenção do equilíbrio entre o que é extraído e exportado pela cultura e o que resta no solo, com intuito de conservar o sistema produtivo eficiente.

Porém, fatores que estimulam crescimento como altas doses de nitrogênio, temperaturas entre 25 e 30°C e boa condição hídrica (cerca de 600 mm), assim como arranjo de plantas adensado, aumentam a propensão ao estiolamento da planta, principalmente dos entrenós acima da espiga, ocasionando tombamento e quebraimento das plantas, assim como o autossombreamento que reduz o potencial fotossintético e prejudica a distribuição de fotoassimilados (SANGOI et al., 2010).

Nesse contexto, a interação de fatores estimulantes com um fator redutor, ou seja, que controle o desempenho vegetativo (reductor de crescimento) por meio da redução de porte, ainda carecem de resultados para as condições de cultivo do milho. Segundo Rademacher (2015), o reductor de crescimento vegetal trinexapaque-etílico inibe a biossíntese da giberelina que é responsável por promover o alongamento do colmo, e por isso, é uma opção para manejo o crescimento das plantas de milho.

Contudo, a utilização do trinexapaque-etílico possivelmente irá modificar morfológicamente a planta de milho, e por consequência sua arquitetura e seu arranjo espacial, de maneira que favoreça a eficiência dos fatores produtivos (PRICINOTTO et al., 2015), tanto edafoclimáticos como a fertilização, com destaque para a nitrogenada. É possível considerar que a interação entre o reductor de crescimento e as doses de nitrogênio em cobertura no milho, promoverão um acréscimo na eficiência produtiva das plantas, já que essas terão sua relação fonte dreno melhorada.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do uso de reductor de crescimento associado a doses de nitrogênio em cobertura sobre o crescimento e o

desempenho produtivo do milho cultivado na 1ª safra.

3.4 Material e métodos

Foram conduzidos dois experimentos em campo, um em Londrina e outro em Faxinal, ambos municípios do Paraná. O solo dos locais foi caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, com 72 % de argila, 23 % de silte e 5% de areia para Londrina e ARGISSOLO ACINZENTADO Distroférico, com 67 % de argila, 28 % de silte e 5% de areia para Faxinal, respectivamente (SANTOS, 2018).

Os locais específicos seguem descritos: 1 - Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, localizada no Município de Londrina, na região Norte do Estado do Paraná com coordenadas geográficas de 23°20'32" S e 51°12'32" W, e altitude média de 550 m. 2 - Lavoura comercial, localizada no Município de Faxinal, na região Norte do Estado do Paraná com coordenadas geográficas de 24°07'09" S e 51°20'37" W e com altitude média de 825 m.

O clima de Londrina, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, ou seja, clima subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Em Faxinal, segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfb - temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (TREWARTHA; HORN, 1980).

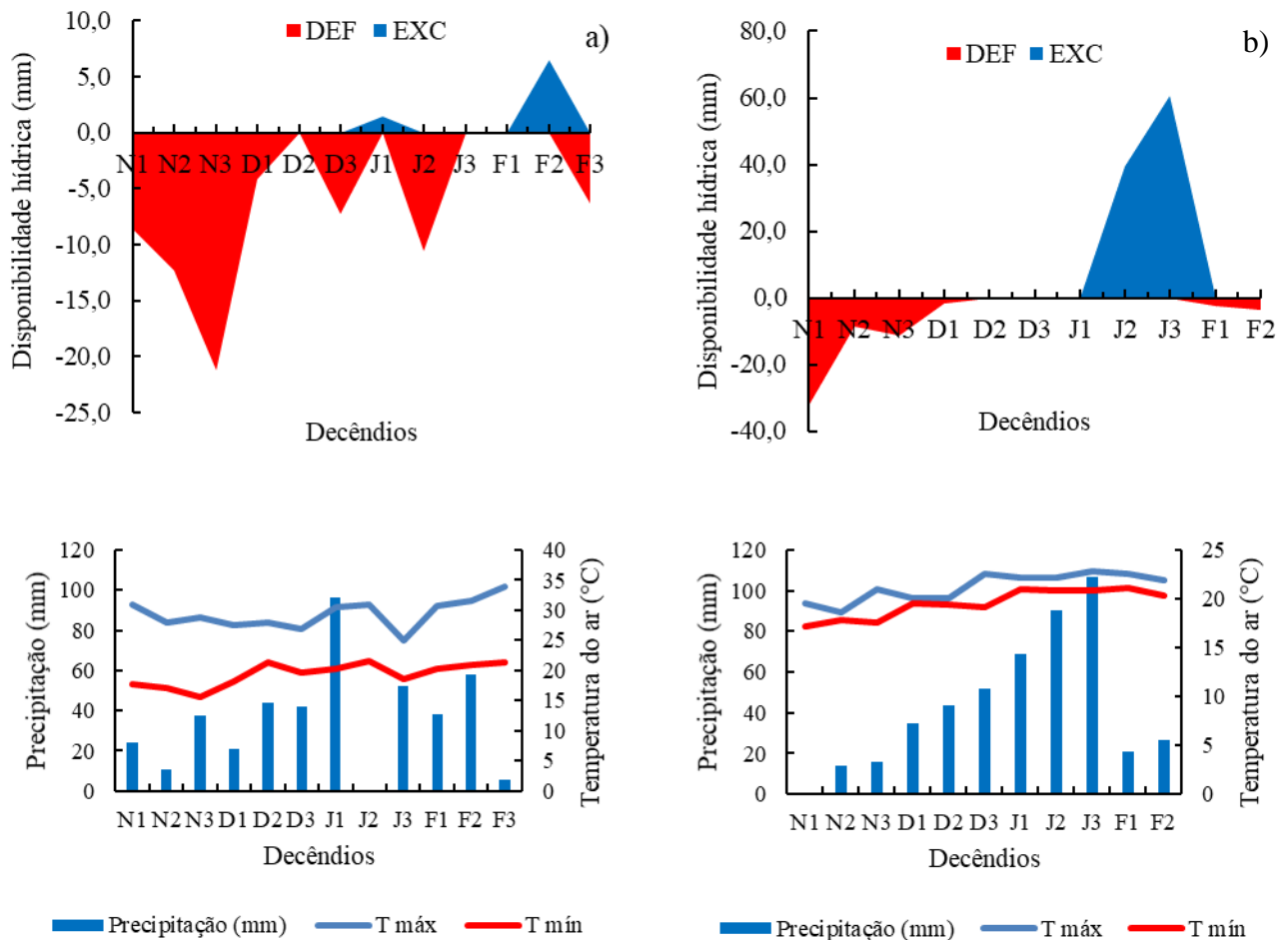
O balanço hídrico para cultivos (THORNTHWAITE; MATHER, 1957) e os dados referentes às médias de precipitação pluvial e temperaturas médias máximas e mínimas, observadas no período experimental, foram obtidos junto à estação meteorológica situada na sede do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) em Londrina-PR para o local 1 e para o local 2 foram utilizados dados fornecidos pelo SIMEPAR (Figura 3.1).

O solo da área experimental foi manejado no sistema de semeadura direta, e havia sido cultivado com trigo (Londrina) e com milho consorciado com braquiária (Faxinal) na safra anterior. Previamente a instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo da área experimental, na camada de 0 a 20 cm, para análise química.

A análise química do solo das áreas experimentais apresentou os seguintes

dados: Londrina - pH (CaCl₂) = 5,2; matéria orgânica 1,77%; P = 4,10 mg dm⁻³ (Extrator Melich 1); K = 0,62 cmol_c dm⁻³; Ca = 6,04 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,06 cmol_c dm⁻³; Al = 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al = 2,03 cmol_c dm⁻³; CTC = 15,75 cmol_c dm⁻³ e V = 59,25%. Faxinal - pH (CaCl₂) = 5,7; matéria orgânica 1,69%; P = 8,55 mg dm⁻³ (Extrator Melich 1); K = 1,60 cmol_c dm⁻³; Ca = 8,30 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,20 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,03 cmol_c dm⁻³; CTC = 16,40 cmol_c dm⁻³ e V = 68,01%.

Figura 3.1 – Disponibilidade hídrica (excesso hídrico - EXC e deficiência hídrica - DEF), precipitação, temperatura do ar (máxima – T máx e mínima T mín) durante a condução dos experimentos (novembro de 2016 a fevereiro de 2017) em Londrina (a e c) e Faxinal (b e d), respectivamente.



Legenda: N1, N2 e N3: decêndios de novembro; D1, D2 e D3: decêndios de dezembro; J1, J2 e J3: decêndios de janeiro e F1, F2 e F3: decêndios de fevereiro.

A adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) na semeadura foi realizada conforme a análise química de solo, com dose de 350 kg ha⁻¹ do adubo formulado 10-15-15, seguindo as indicações técnicas para a cultura conforme EMBRAPA (2017).

Momentos antes da semeadura dos experimentos, as sementes de milho foram tratadas com imidacloprido + tiodicarbe + thiametoxan. Foram utilizados os produtos comerciais Cropstar® e Cruiser® 350 FS nas doses de 300 e 200 mL para cada 60.000 sementes.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial duplo (2 x 5), com 4 repetições, sendo os fatores: fator A – com e sem aplicação do regulador de crescimento trinexapaque-etílico (0 e 400 g i.a ha⁻¹) e fator B – cinco doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (100, 150, 200, 250 e 300 kg ha⁻¹), nos dois ambientes de produção.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada. As datas de semeadura foram estabelecidas conforme zoneamento agrícola da cultura do milho para o município de Londrina e Faxinal em 30 de outubro e 01 de novembro, respectivamente (EMBRAPA, 2012).

A densidade de plantas utilizada foi de 70 mil plantas por hectare, com o híbrido 2B810PW, que possui as seguintes características: plantas de porte alto (cerca de 235 cm), altura de inserção de espiga por volta de 135 cm, arquitetura semiereta, espiga cilíndrica, com 18 a 20 fileiras, de bom empalhamento, alta prolificidade, alto potencial produtivo, boa sanidade de plantas e soma térmica de 920 graus dia.

Cada parcela experimental foi constituída por 6 linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,45 m (área total de 13,5 m²). Foi considerada como área útil de cada parcela experimental as 4 linhas centrais com 4 m de comprimento, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade, totalizando 7,2 m², para os dois experimentos.

O redutor de crescimento vegetal trinexapaque-etílico foi aplicado via foliar na cultura do milho em V6 (RITCHIE et al., 1993), na dose de 400 g i.a ha⁻¹ (1,6 L de p.c ha⁻¹) com o uso de pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com barra de pulverização de 2,5 m de comprimento e seis pontas XR de jato tipo leque, com pressão de 30 psi e taxa de aplicação constante de 150 L ha⁻¹ a uma altura de 50 cm acima do dossel da cultura.

As aplicações foram realizadas no final do dia com as seguintes condições: em Londrina com 24,2 °C de temperatura do ar, 65% de umidade relativa do ar e velocidade do vento de 4,8 km h⁻¹ e em Faxinal com 23,3 °C de temperatura do ar, 67% de umidade relativa do ar e velocidade do vento de 5,3 km h⁻¹.

A aplicação das doses de nitrogênio em cobertura (100, 150, 200, 250 e 300 kg ha⁻¹) foi realizada de forma parcelada nos estádios V3 e V6 da cultura (RITCHIE et al.,

1993), sendo 50% da dose em cada fase. Como fonte de nitrogênio, foi utilizada a ureia com 45 % de nitrogênio em sua composição, e a aplicação foi realizada após a ocorrência de precipitação pluvial para reduzir perdas e maximizar a absorção pelas plantas.

Foram realizados os tratos culturais e manejo de plantas daninhas, pragas e doenças de acordo com as recomendações do Sistema de Produção da Cultura do Milho (EMBRAPA, 2012). No caso do manejo de plantas daninhas foi realizado a dessecação da área com o herbicida glyphosate (1.440 g e.a ha⁻¹) e uma aplicação em pós-emergência de atrazina (2.000 g i.a ha⁻¹).

A aplicação de inseticidas e fungicidas, excetuando-se o tratamento de sementes, foi realizada conforme identificação de necessidade por meio de monitoramentos durante a condução dos experimentos em questão.

Foram avaliadas as seguintes características: altura de plantas (AP), Altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), índice de área foliar (IAF) e condutância estomática (COND) no estágio R1/R2 do milho. O número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) foram determinadas por ocasião da colheita.

As avaliações foram iniciadas após o florescimento pleno da cultura, tomando-se dez plantas ao acaso dentro da área útil das parcelas e avaliadas a altura de plantas (AP) e de inserção de espigas (AIE) em centímetros, por meio da aferição da distância entre a superfície do solo e base do pendão e da espiga principal, respectivamente.

As mesmas dez plantas foram utilizadas para avaliação do diâmetro de colmo (DC) em milímetros, o qual foi aferido com auxílio de paquímetro no terço mediano do segundo internódio, a partir da base da planta, no sentido do menor diâmetro.

Foi determinado o índice de área foliar (IAF), expresso em m² de folha por m² de superfície de solo, estimado com base na aferição do comprimento total (C) e largura do terço médio (L) das folhas fotossinteticamente ativas de dez plantas na área útil de cada parcela no estágio R1. Os dados foram submetidos à seguinte expressão, proposta por Francis (1969): $IAF = \frac{(0,75 * C * L)}{(e1 * e2)}$, em que e1 e e2 referem-se ao espaçamento entre plantas em metros na linha de semeadura e entre as linhas, respectivamente.

A condutividade estomática também foi aferida no estágio R1, sendo realizadas três leituras sequenciais na parte mediana da folha oposta à da espiga em dez plantas na área útil de cada parcela, com auxílio do medidor portátil Leaf Porometer do fabricante DECAGON DEVICES, Inc. Os valores da pressão de gases foram expressos em

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Após o término do ciclo, por ocasião da maturação de colheita da cultura, foram colhidas as espigas da área útil das parcelas (7,2 m²). Separou-se aleatoriamente dez espigas de cada parcela, nas quais foram avaliados por meio de simples contagem o número de fileiras de grãos por espiga (NFE), o número de grãos por fileira (NGF) e o número de grãos por espiga (NGE).

Posteriormente a debulha de todas as espigas da área útil de cada parcela, foram aferidos a massa de mil grãos (MMG) e calculada a produtividade de grãos (PROD). A massa de mil grãos foi determinada conforme metodologia proposta por Brasil (2009) e expressa em gramas. A produtividade de grãos foi determinada pela pesagem dos grãos produzidos na área útil, com massa corrigida para umidade de 130 g de água por quilograma de grão e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

O tratamento estatístico foi realizado separadamente para os dois ambientes de cultivo. Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, para determinação da normalidade e homogeneidade dos resíduos. Após constatados os pressupostos supramencionados, foi realizada a análise de variância, em ambos foi considerado 5% de significância ($p < 0,05$).

Nos casos que ocorreram efeitos, o fator qualitativo (reductor de crescimento - trinexapaque-etílico) foi comparado pelo teste F. O fator quantitativo (doses de nitrogênio) foi submetido a análise de regressão, em que foram considerados os modelos linear e polinomial ($p < 0,05$).

A fim de visualizar as relações entre as médias observadas das características avaliadas no milho em resposta aos fatores estudados, foi calculada a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson, sendo sua significância confirmada pelo teste T de Student.

3.5 Resultados e discussão

Ambas localidades no Paraná, possuem características ambientais distintas, sendo Faxinal um município com maior altitude e, portanto, condição térmica mais amena, assim como, distribuição hídrica regular e solo com boa fertilidade. Já Londrina, pela menor altitude é mais quente e apresenta temperaturas noturnas principalmente maiores, sendo a distribuição hídrica regular também e a fertilidade de solo considerada boa.

As duas regiões são referências na produção de grãos de milho, isso se deve

ao sistema produtivo que é possui bom investimento em tecnologia, principalmente quanto aos materiais genéticos de alta eficiência, adubações e manejo fitossanitário que possibilitam produtividades de grãos acima da média nacional. Conforme serão apresentados a seguir, os resultados comprovam eficiência dos fatores experimentais nos dois locais de cultivo.

Faxinal-PR

Foi constatado efeito significativo da aplicação de trinexapaque-etílico (TE) sobre as variáveis altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por fileira (NGF) e massa de mil grãos (MMG) Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em função do uso de trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura para Faxinal-PR.

FV	GL	AP	AIE	DC	IAF	COND
TE	1	1606,81**	845,66**	46,33**	0,17 ^{ns}	19482,46**
N	4	150,06 ^{ns}	34,94 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,71*	3205,10**
TE * N	4	101,54 ^{ns}	91,17 ^{ns}	3,05 ^{ns}	1,69*	3485,34**
Bloco	3	131,86 ^{ns}	80,46 ^{ns}	4,53 ^{ns}	0,76 ^{ns}	540,36 ^{ns}
Erro	27	105,13	49,99	1,29	0,45	260,04
DMS		6,65	4,59	0,74	0,43	10,46
CV (%)		4,14	5,11	5,28	10,74	18,12
FV	GL	NGE	NFE	NGF	MMG	PROD
TE	1	17278,57*	0,01 ^{ns}	55,9*	5499,96*	3211562,57 ^{ns}
N	4	4081,32 ^{ns}	0,88 ^{ns}	9,70 ^{ns}	4815,00 ^{ns}	3263523,16 ^{ns}
TE * N	4	8106,49 ^{ns}	1,46*	13,62 ^{ns}	1431,25 ^{ns}	5938022,68*
Bloco	3	210,80 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1937,79 ^{ns}	2252995,39 ^{ns}
Erro	27	3968,05	0,39	8,93	889,58	2018941,81
DMS		40,87	0,41	1,94	19,35	921,94
CV (%)		10,87	3,66	8,86	9,61	19,95

^{ns} = não significativo (p<0,05); * = significativo (p<0,05) e ** = significativo (p<0,001).

Legenda: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; TE = trinexapaque-etílico; N = doses de nitrogênio em cobertura; DMS = diferença mínima significativa; CV = coeficiente de variação; AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; COND = condutância estomática; NGE = número de grãos por espiga; NFE = número de fileiras por espiga; NGF = número de grãos por fileira; MMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

Foi verificado ainda efeito significativo da interação entre trinexapaque-

etílico e doses de N para as variáveis índice de área foliar (IAF), condutância estomática (COND), número de fileiras por espiga (NFE) e produtividade de grãos (PROD), conforme Tabela 3.1.

Houve alteração no crescimento e nas características produtivas das plantas de milho em função da aplicação de trinexapaque-etílico em Faxinal (Tabela 3.2). A redução do porte das plantas em resposta ao uso do redutor de crescimento, foi em média de 5 e 6,5% na altura de planta e altura de inserção de espiga, respectivamente.

Essa redução de porte das plantas é ocasionada pela redução do tamanho dos entrenós do colmo, principalmente os localizados abaixo da espiga, havendo direta relação com a inibição da biossíntese do hormônio giberelina nos meristemas intercalares do colmo das plantas de milho, conforme abordado por Rademacher (2015).

Sendo esse efeito benéfico para a arquitetura do dossel das plantas de milho, com melhoria na distribuição das folhas e redução da angulação de inserção destas, com favorecimento na interceptação da radiação solar e na fotossíntese das plantas.

Já o diâmetro de colmo foi alterado de forma contrária, com seu incremento ocorrendo devido ao uso do trinexapaque-etílico, isso devido ao encurtamento dos entrenós que ocasionaram o aumento da espessura. Considera-se positiva essa alteração morfológica, uma vez que a planta terá maior resistência ao tombamento e maior capacidade de armazenamento de fotoassimilados no colmo, que podem ser utilizados no enchimento de grãos futuramente.

Tabela 3.2 – Valores médios de características fitométricas e componentes de produção de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico em Faxinal-PR.

trinexapaque-etílico	Características avaliadas					
	AP (cm)	AIE (cm)	DC (mm)	NGE -	NGF -	MMG (g)
Sem	254,29 a	142,93 a	20,39 b	558,98 b	32,55 b	298,66 b
Com	241,61 b	133,73 b	22,54 a	600,55 a	34,90 a	322,12 a

Legenda: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para o fator trinexapaque-etílico ($p < 0,05$). AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; NGE = número de grãos por espiga; NGF = número de grãos por fileira e MMG = massa de mil grãos.

Fonte: o autor.

Resultados semelhantes foram obtidos para essas características fitométricas na cultura do milho por Pricinotto et al. (2015) que testou doses até 375 g i.a do trinexapaque-

etílico em milho cultivado em casa de vegetação, Fagherazzi (2015) que testou três genótipos de milho e aplicações sequenciais de 100 g i.a. ha⁻¹ de trinexapaque-etílico entre as fases de V2 e V7.

Também na Tabela 3.2 é possível constatar alterações dos componentes de produção em resposta a aplicação de trinexapaque-etílico, havendo benefício em três parâmetros (NGE, NGF e MMG) devido ao emprego do redutor.

Possivelmente o uso do trinexapaque-etílico alterou a distribuição de fotoassimilados nas plantas de milho, direcionando menos energia para estruturas vegetativas, uma vez que o crescimento foi diminuído e o saldo energético proveniente dessa mudança permitiu maior produção de grãos. Assim, verificou-se benefício em três parâmetros (NGE, NGF e MMG) devido ao emprego do redutor de crescimento.

Os grãos de milho tiveram incremento médio de 7% em número e peso. Resultados positivos em componentes de produção também foram encontrados por Kaspary et al. (2015) na cultura da aveia branca com uso de 100 g i.a ha⁻¹ de trinexapaque-etílico, dose bastante inferior aos 400 g i.a ha⁻¹ utilizados no presente trabalho, porém, ressalta-se que a planta de milho é mais robusta e é necessária maior dose do redutor.

Destaca-se na Figura 3.2a que houve diferença para o uso de trinexapaque-etílico para IAF apenas na dose de 200 kg ha⁻¹ de N, em que a aplicação do redutor gerou maior IAF, o que se deve possivelmente a maior largura das folhas devido a inibição do hormônio giberelina, que promove alteração no padrão de crescimento celular, havendo menor alongação destas (RADEMACHER, 2015).

Ainda no que se relaciona a menor expansão celular e conseqüentemente menor comprimento das folhas de milho (Figura 3.2b) houve maior condutância estomática para as plantas que receberam a aplicação do redutor de crescimento, possivelmente devido a concentração de estômatos no limbo foliar, exceto na dose de 200 kg ha⁻¹ de N.

A condutância foliar é composta, em menor parte, pela condutância cuticular da epiderme e, em sua grande maioria pela condutância estomática que é controlada pelas células-guarda dos estômatos. Assim, ela é proporcional ao número e ao tamanho dos estômatos e diâmetro da abertura do estômato, características que dependem também de fatores endógenos e ambientais (BRODRIBB; HOLBROOK, 2003).

Esse parâmetro está intimamente ligado a disponibilidade de nitrogênio que compõe enzimas chaves do processo fotossintético (rubisco e PEP-case) que ocorre com maior eficiência para as plantas C4, conforme maior disponibilidade de N e água (NORMAN; PEARSON; SEARLE, 1995).

Essa resposta é relevante devido a maior capacidade de absorver e na sequência concentrar CO₂ nas células da bainha do feixe vascular, que favorece o processo fotossintético ocasionando maior potencial de produção de fotoassimilados, e por consequência maior capacidade de enchimento de grãos, que se relaciona ao que foi verificado na Tabela 3.2.

Resposta semelhante foi encontrada por Faria et al. (2014) para a cultura da cana-de-açúcar, com aplicações aos 120, 200 e 240 dias após a brotação, na dose de 250 g i.a ha⁻¹ de trinexapaque-etílico. Os autores relatam favorecimento da atividade fotossintética e incremento do crescimento e desenvolvimento da cultura, possibilitando maior desempenho produtivo.

Na figura 3.2c verifica-se pouca alteração do número de fileiras por espiga entre a presença e ausência do redutor de crescimento, sendo que, na dose de 200 kg ha⁻¹ de N o maior valor foi obtido com o redutor e na dose de 300 kg ha⁻¹ de N foi sem sua aplicação.

Quando se analisa o desdobramento da interação de trinexapaque-etílico dentro das doses de N em cobertura (Figuras 3.2 e 3.3), destaca-se que para IAF (Figura 3.2 a), houve acréscimo linear conforme se acresceu a dose de N em cobertura, independente da aplicação do redutor de crescimento, com taxas de acréscimo de 0,0076 e 0,0038 para as condições com e sem o trinexapaque-etílico, respectivamente.

Conforme relatado por França et al. (2011), incremento da disponibilidade de nitrogênio ocasionaram maior IAF do milho, com maior resposta ocorrendo na dose de 192 kg ha⁻¹ de N. Efeito positivo do N sobre o IAF de milho também foi relatado por Oliveira et al. (2018), que em doses crescentes, até cerca de 350 kg ha⁻¹, com ou sem a aplicação de trinexapaque-etílico (150 g i.a. ha⁻¹) obteve incremento do IAF até cerca de 7,5.

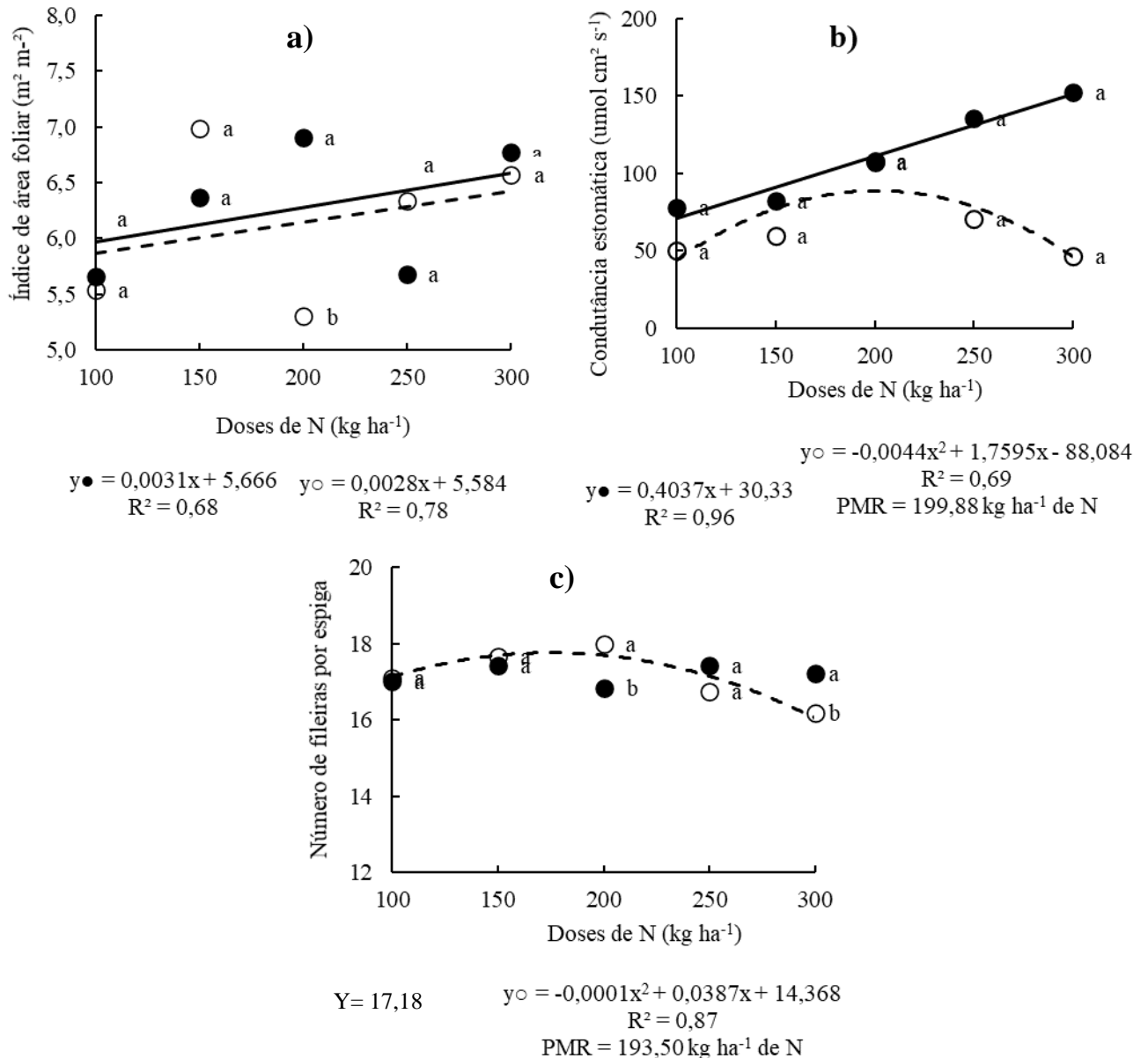
Para a Figura 3.2 b, a condutância estomática apresenta resposta distinta entre as plantas que receberam e as que não receberam aplicação de trinexapaque-etílico. Para a condição sem aplicação, houve acréscimo de condutância estomática até 199,88 kg ha⁻¹ de N, já para a condição com aplicação do redutor, o acréscimo foi linear, com taxa de 0,4 $\mu\text{mol cm}^2 \text{ s}^{-1}$ para cada kg de N adicionado.

A limitação de resposta encontrada para a condição sem aplicação do redutor se justifica pelo crescimento excessivo ocasionado pelas altas doses de N, o que gera autossombreamento das plantas e por consequência redução da condutância estomática, uma vez que a mudança na qualidade da luz que entra no dossel dificulta o processo fotossintético.

Informação semelhante é relatada por Santos et al. (2018), que em densidades maiores de plantas de milho que ocasionaram estiolamento e autossombreamento,

também foi reduzida a condutividade estomática das folhas.

Figura 3.2 - Desdobramento da interação para índice de área foliar (a), condutância estomática das folhas (b) e número de fileiras por espiga (c) de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR.



Legenda: PMR = ponto de máxima resposta para o eixo x.

Fonte: o autor.

Já no que se refere à condição com o redutor de crescimento (Figura 3.2 b), o incremento da condutividade estomática foi constante, provavelmente devido ao favorecimento da entrada de luz no dossel. A melhoria da angulação foliar (folhas mais curtas

e eretas) relatada por Zagonel et al. (2002) em trigo e Pricinotto (2014) e Fumagalli et al. (2018) em milho, favorecem o aproveitamento da radiação solar e distribuição de fotoassimilados nas plantas.

Para o número de fileiras por espiga (Figura 3.2 c), não foi verificada alteração nas plantas que tiveram aplicação do redutor de crescimento independente da dose de N em cobertura. Porém, para a condição sem aplicação do redutor, houve acréscimo até 193,50 kg ha⁻¹ de N, que confirma o que foi relatado anteriormente, ou seja, o crescimento excessivo prejudicou também a formação de componentes de produção.

Já no que se refere à produtividade de grãos (Figura 3.3), em três doses (100, 250 e 300 kg ha⁻¹ de N) houve maior resposta para a aplicação do redutor de crescimento, com discrepância apenas na dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Portanto, considerando-se a resposta geral, houve superioridade produtiva de cerca de 3,3% (cerca de 240 kg ha⁻¹ de grãos a mais) com o uso de trinexapaque-etílico.

Tal resposta se deve ao incremento dos componentes de produção supramencionados na Tabela 3,2, que possivelmente foram estimulados pelo maior potencial fotossintético das plantas que sofreram a aplicação de redutor, conforme verificado na Tabela 3.3 com o incremento da condutância estomática das plantas.

Resultados positivos em produtividade grãos também foram relatados por Pricinotto (2014); Barbosa (2016) e Pricinotto et al. (2019). Leolato et al. (2017) descreveram a ausência de resposta produtiva e Fagherazzi (2015) descreveu respostas negativas do trinexapaque-etílico sobre a produtividade de grãos de milho. Tais variações se devem aos manejos adotados em cada trabalho e as diferenças em relação a dose, estágio de aplicação e interação com outros fatores como doses de nitrogênio e densidade de plantas de milho.

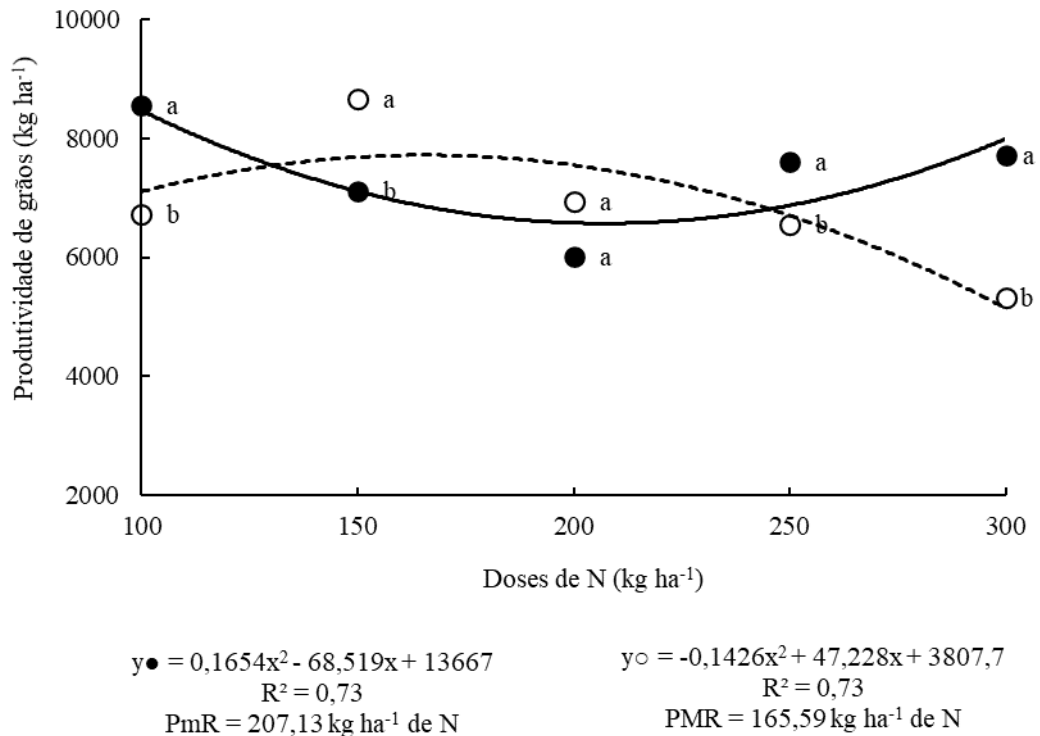
No entanto, os autores que obtiveram resposta positiva para produtividade de grãos, de forma geral, trabalharam fatores que estimulam o crescimento das plantas de milho (densidade de plantas, doses de nitrogênio e ambiente de produção) e dose de 400 g i.a ha⁻¹ do trinexapaque-etílico, corroborando os resultados obtidos nesse estudo.

A condição sem aplicação de redutor de crescimento, apresentou resposta similar ao que já foi relatado, com aumento de produtividade até 165,59 kg ha⁻¹ de N e posterior redução ocasionada pela própria competição intraespecífica ocasionada pelo excesso de crescimento vegetativo.

Ressalta-se que pelo observado na figura 3.3, seria melhor não usar o redutor de crescimento e aplicar aproximadamente 150 kg de N ha⁻¹ para obter maior produtividade de grãos, e sem custo adicional com o trinexapaque-etílico. No entanto, mais

trabalhos devem ser conduzidos com análise de custo operacional para esclarecer aspectos financeiros do emprego ou não desse manejo com redutor de crescimento.

Figura 3.3 – Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos de milho em resposta a trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR.



Legenda: PMR = ponto de máxima resposta para o eixo x e PmR = ponto de mínima resposta no eixo x.

Fonte: o autor.

Já para a condição com aplicação de trinexapaque-etílico, houve adequação polinomial com ponto de mínima resposta em 207,13 kg ha⁻¹ de N, que evidencia variações na condição ambiental de Faxinal-PR, mas que demonstram principalmente para as maiores doses de N uma superioridade produtiva.

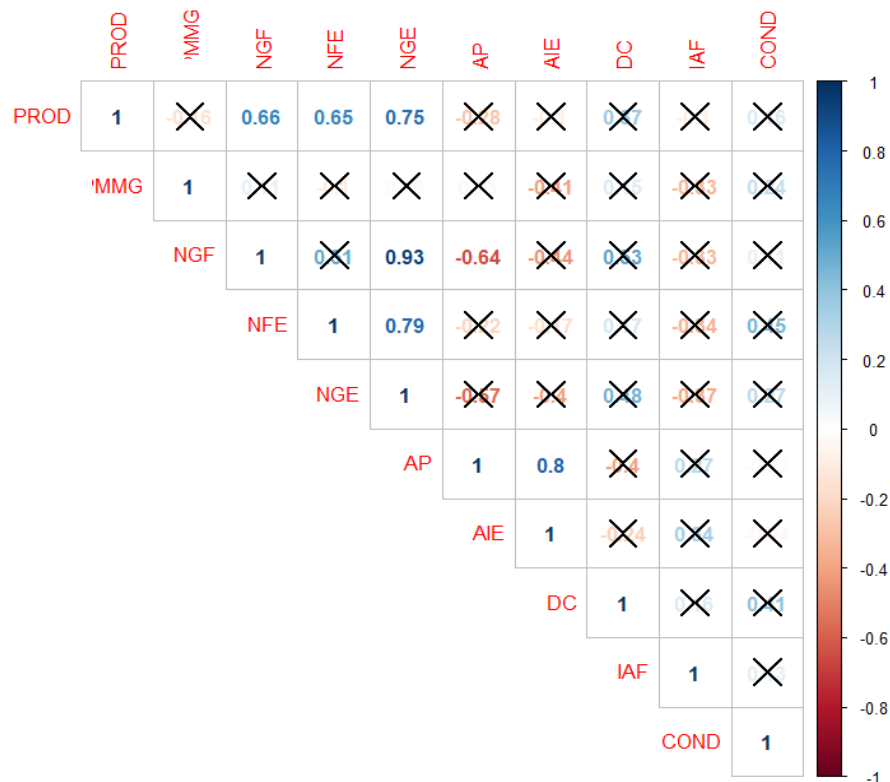
Essa resposta de interação de altas doses de N (250 e 300 kg ha⁻¹) com o uso do redutor demonstra a efetividade desta técnica em suprimir o excesso de crescimento vegetativo das plantas de milho devido a disponibilidade desse nutriente, melhorar a arquitetura foliar com maior aproveitamento da radiação solar, além de realocar essa energia em estruturas de interesse econômico. França et al. (2011) também constataram aumento da produtividade de milho com doses de N acima de 250 kg ha⁻¹, confirmando a resposta da cultura a esse nutriente, principalmente no caso de genótipos modernos.

De forma complementar, o teste de correlação (Figura 3.4), reafirma as

considerações anteriormente levantadas, uma vez que a produtividade e componentes de produção tiveram sua correlação positiva sempre superior a 65%.

Era esperada uma correlação negativa significativa da produtividade com a altura de plantas e índice de área foliar, devido aos efeitos do N e do redutor de crescimento. Porém, isso não foi constatado, e essa ausência de resposta se deve em parte à condição ambiental, principalmente devido à baixa disponibilidade hídrica na fase inicial do ciclo da cultura, que também afetam de forma negativa o alongamento de colmo e compromete a resposta das plantas ao N. Essa afirmação é sustentada pelos valores de produtividade abaixo do que é esperado para a época de cultivo e nível tecnológico empregado.

Figura 3.4 – Correlação de Pearson para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura em Faxinal-PR.



Apenas correlações acima de 0,65 são significativas pelo teste T de Student, para 5% de significância e o X indica ausência de significância.

Legenda: AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; COND = condutância estomática; NGE = número de grãos por espiga; NFE = número de fileiras por espiga; NGF = número de grãos por fileira; PMMG = peso da massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

E pelo contrário, o excesso de crescimento representado pela altura de

planta teve correlação negativa com o componente número de grãos por fileira. O que também foi verificado por Lins et al. (2017), que ao testar diferentes genótipos de milho e doses crescentes de N (até 320 kg ha⁻¹), também constataram efeito de autossombreamento pelo crescimento excessivo.

Londrina-PR

Foi constatado efeito significativo da aplicação de trinexapaque-etílico sobre as variáveis altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por fileira (NGF) e massa de mil grãos (MMG). Para o fator doses de N isoladamente, foi verificado efeito significativo para as variáveis número de grãos por fileira (NGF) e massa de mil grãos (MMG) conforme. Foi verificado ainda efeito significativo da interação entre trinexapaque-etílico e doses de N para as variáveis diâmetro de colmo (DC), índice de área foliar (IAF), condutância estomática (COND), número de fileiras por espiga (NFE) e produtividade de grãos (PROD), conforme Tabela 3.3.

Para Londrina foi verificada redução menos pronunciada da AP e AIE (tabela 3.6), com reduções médias de 4 e 3,3%, respectivamente. Destaca-se que essa alteração favorece a arquitetura do dossel das plantas de milho, com alteração da angulação foliar e favorecimento da interceptação da radiação solar.

Essas modificações estruturais reduzem o crescimento vegetativo das plantas e a energia que seria consumida para esse crescimento é redirecionada para as estruturas reprodutivas. Esse comportamento pode ser evidenciado pelo resultado ocorrido para número de grãos por fileira e por espiga, que foram acrescidos em 16 e 6%, respectivamente nas plantas tratadas, demonstrando que estes componentes de rendimento foram incrementados pela redistribuição de fotoassimilados devido ao efeito do trinexapaque-etílico.

Leolato et al. (2017) obtiveram resposta distinta, em que a aplicação do trinexapaque-etílico na dose de 150 g i.a ha⁻¹ em V5 e V10 afetou negativamente os componentes de rendimento, sem, porém, afetar a produtividade de grãos, e destacaram que a fase de aplicação prévia ao maior desenvolvimento dos entrenós do colmo é favorável ao balanço energético das plantas e possibilita incrementos produtivos.

Tabela 3.3 - Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em função do uso de trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura para Londrina-PR.

FV	GL	AP	AIE	DC	IAF	COND
TE	1	1022,12**	300,30*	4,49 ^{ns}	11,33**	5130,23**
N	4	146,80 ^{ns}	50,77 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,88**	9016,99**
TE * N	4	215,52 ^{ns}	41,53 ^{ns}	6,62*	0,54**	2064,94**
Rep	3	36,75 ^{ns}	9,08 ^{ns}	3,54 ^{ns}	0,16 ^{ns}	682,28 ^{ns}
Erro	27	82,30	61,67	2,09	0,06	398,03
DMS		5,89	5,09	0,94	0,16	12,95
CV (%)		3,45	4,81	5,99	3,25	23,51
FV	GL	NGE	NFE	NGF	MMG	PROD
TE	1	17808,82**	0,54 ^{ns}	39,44**	1862,95*	8847800,94*
N	4	3779,03 ^{ns}	2,55**	8,29*	1154,93**	10155711,39**
TE * N	4	2119,32 ^{ns}	0,93*	1,32 ^{ns}	524,47 ^{ns}	10906187,67**
Rep	3	602,56 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,56 ^{ns}	85,41 ^{ns}	225968,05 ^{ns}
Erro	27	942,74	0,33	2,65	262,27	1167165,40
DMS		19,92	0,37	1,06	10,51	700,98
CV (%)		5,30	3,39	4,76	4,96	12,94

^{ns} = não significativo (p<0,05); * = significativo (p<0,05) e ** = significativo (p<0,001).

Legenda: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; TE = trinexapaque-etílico; N = doses de nitrogênio em cobertura; DMS = diferença mínima significativa; CV = coeficiente de variação; AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; COND = condutância estomática; NGE = número de grãos por espiga; NFE = número de fileiras por espiga; NGF = número de grãos por fileira; MMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

Quanto a MMG (Tabela 3.4), verifica-se que houve cerca de 4% a mais de peso nos grãos quando as plantas tiveram aplicação do redutor de crescimento. Essa resposta se relaciona diretamente com o incremento nos outros componentes de produção, que ocorreram devido a redistribuição de fotoassimilados mais eficiente, considerando que houve redução do porte das plantas e, portanto, menor custo energético com estruturas vegetativas.

Essa melhoria na relação fonte-dreno também foi relatada por Marchese et al. (2016) que ao trabalhar com trigo usaram 100 g i.a ha⁻¹ de trinexapaque-etílico, dose bastante inferior aos 400 g i.a ha⁻¹ utilizados no presente trabalho. Vale salientar que a planta de milho é mais robusta e por isso é necessária maior dose do redutor de crescimento para que ocorra o controle no crescimento vegetativo excessivo.

Tabela 3.4 – Valores médios de características fitométricas e componentes de produção de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico em Londrina-PR.

trinexapaque-etílico	Características avaliadas				
	AP (cm)	AIE (cm)	NGF	NGE	MMG (g)
SR	268,11 a	166,14 a	33,18 b	477,37 b	319,71 b
CR	258,00 b	160,66 b	35,20 a	565,41 a	333,36 a

Legenda: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para o fator trinexapaque-etílico ($p < 0,05$). AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; MMG = massa de mil grãos, NGE = número de grãos por espiga e NGF = número de grãos por fileira.

Fonte: o autor.

Quanto a NGF e MMG (Figura 3.5 a e b), verifica-se que houve resposta para o efeito isolado das doses de nitrogênio, com adequação linear crescente com taxa de acréscimo de 0,0096 fileiras por espiga para cada kg de N adicionado. Já para o MMG, houve adequação quadrática, havendo ponto de inflexão na dose de 232,38 kg de N ha⁻¹.

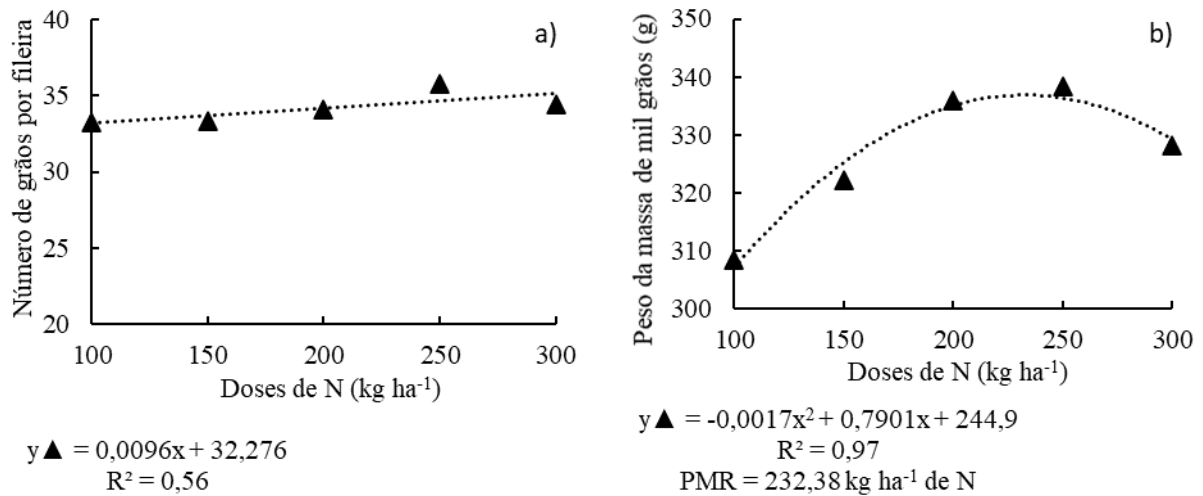
Essa resposta se relaciona diretamente com o fato de o nitrogênio ser o nutriente com maior influência sobre o crescimento vegetativo, este é componente de diversas biomoléculas, dentre elas, as mais importantes seriam a clorofila e a RUBISCO, o que afeta diretamente o potencial fotossintético das plantas de milho (VARELLA et al., 2019).

Porém, quando o estímulo ao crescimento vegetativo é excessivo, verificasse um agravamento do autossombreamento das plantas de milho, devido ao incremento da área foliar, e isso gera custo energético adicional para desenvolver essas estruturas, além de redução da fotossíntese líquida pela menor quantidade de radiação aproveitada (TAIZ et. al, 2017).

Comportamento semelhante foi verificado por Vilela et al., (2012) que na dose máxima trabalhada por eles de 160 kg ha⁻¹ de N, observaram incremento nos componentes de rendimento, dentre eles, a massa de grãos e isso promoveu também o incremento da produtividade de grãos do milho.

Já no trabalho realizado por Caires e Milla (2016), houve resposta linear crescente para o MMG, com acréscimo de 0,099 g a cada kg de N adicionado, e a dose máxima utilizada foi 360 kg ha⁻¹ de N. As situações distintas se relacionam ao potencial de resposta ao N de cada material genético, ambiente de cultivo e manejo empregado na lavoura.

Figura 3.5 – Valores médios de número de grãos por fileira (a) e peso da massa de mil grãos (b) de milho em resposta as doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.



Legenda: PMR = ponto de máxima resposta para o eixo x.

Fonte: o autor.

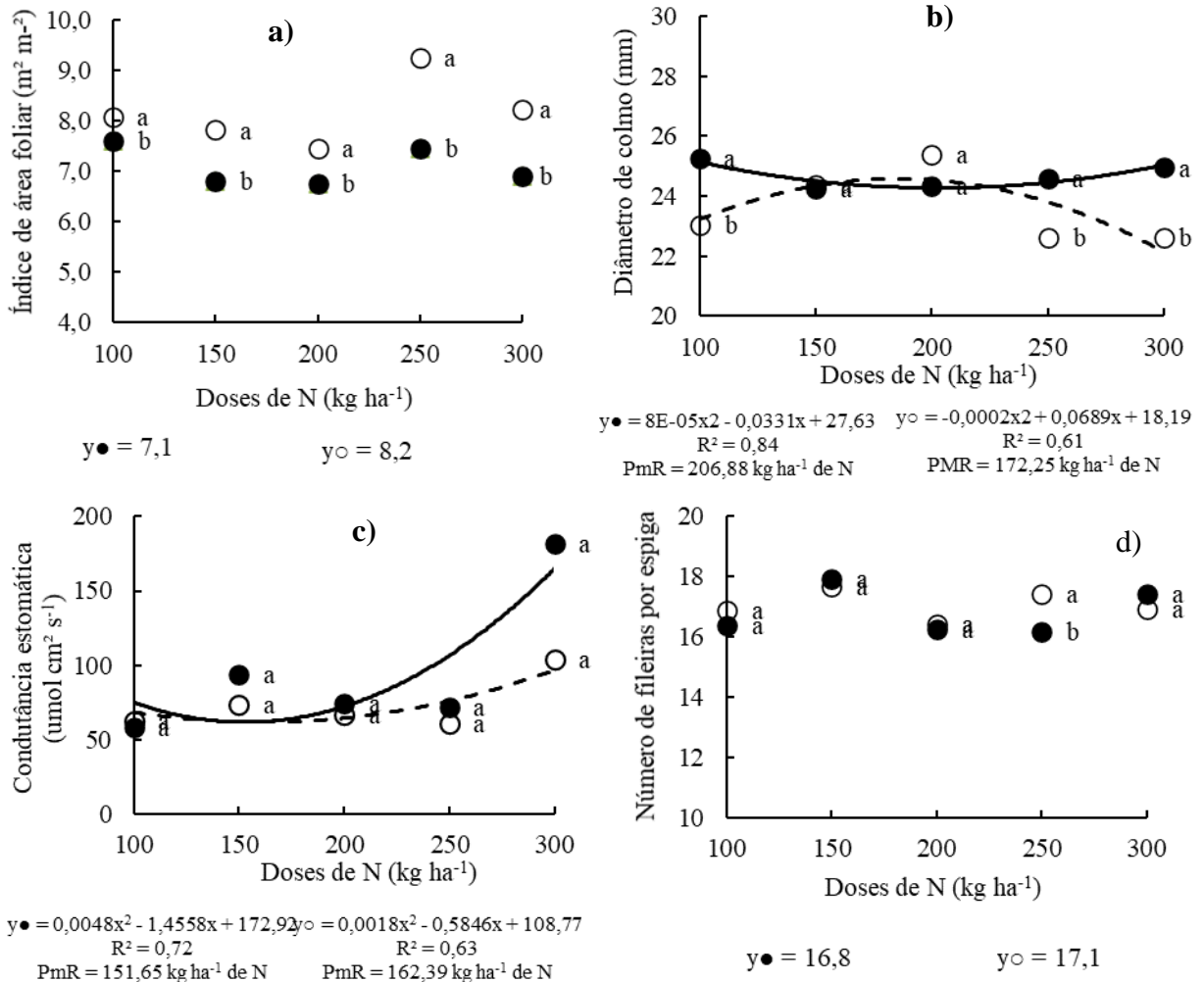
A Figura 3.6a demonstra que no desdobramento de doses de N para o fator trinexapaque-etílico houve diferença para IAF em todas as doses de N, em que a aplicação do redutor gerou menor IAF, o que se deve a redução do comprimento das folhas de milho, devido a inibição do hormônio giberelina, que promove alteração no padrão de crescimento celular, havendo menor alongação destas (RADEMACHER, 2015).

Ainda na Figura 3.6b e c, para condutância estomática e diâmetro de colmo, houveram respostas pontuais e menos expressivas, com maior condutância estomática para a condição com aplicação de redutor na dose de 300 kg ha⁻¹ de N e maior diâmetro de colmo nas doses de 100, 250 e 300 kg ha⁻¹ de N.

A condutância estomática (Figura 3.6c) está intimamente ligado a disponibilidade de nitrogênio que compõe enzimas chaves do processo fotossintético (rubisco e PEP-case) que ocorre com maior eficiência para as plantas C4, conforme maior disponibilidade de N e água (NORMAN; PEARSON; SEARLE, 1995), o que justifica essa ocorrência na maior dose de N.

Para o diâmetro de colmo (Figura 3.6 b) que aumentou devido ao uso do trinexapaque-etílico, se relaciona tal resposta ao encurtamento dos entrenós que ocasionaram o aumento da espessura, possibilitando maior resistência ao tombamento e maior capacidade de armazenamento de fotoassimilados no colmo, que podem ser utilizados no enchimento de grãos futuramente. Resultados semelhantes foram obtidos para essas características fitométricas por Pricinotto et al. (2015) e Barbosa et al. (2017).

Figura 3.6 – Desdobramento da interação para índice de área foliar (a), diâmetro de colmo (b), condutância estomática das folhas (c) e número de fileiras por espiga (d) de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.



Legenda: PMR = ponto de máxima resposta para o eixo x e PmR = ponto de mínima resposta para o eixo x.
Fonte: o autor.

Na Figura 3.6d verifica-se pouca alteração do número de fileiras por espiga entre a presença e ausência do redutor de crescimento, sendo que, na dose de 250 kg ha^{-1} de N o maior valor foi obtido sem o redutor.

Na figura 3.6 que trata do desdobramento de trinexapaque-etílico dentro das doses de N se verifica que não houve adequação para IAF e NFE (Figura 3.6 a e d). Já para o diâmetro de colmo (Figura 3.6 b) observa-se adequações distintas para as condições de trinexapaque-etílico, sendo que, com a aplicação houve ponto de mínima resposta na dose de $206,88 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e sem a aplicação do redutor de crescimento houve ponto de máxima resposta em $172,25 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

As respostas obtidas para o presente trabalho concordam com o que foi encontrado por Pricinotto et al. (2015) e Barbosa et al., (2017) em relação ao DC e uso do redutor de crescimento, demonstrando que esta tecnologia utilizada em conjunto com um fator estimulante, no caso o nitrogênio em cobertura, pode proporcionar respostas distintas ao crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

Já para a condutância estomática (Figura 3.6 c) houve adequação quadrática com ponto de mínima resposta em 151,65 e 162,39 kg ha⁻¹ de N, para a condição com e sem a aplicação de redutor de crescimento, respectivamente. Esse comportamento demonstra que há relação direta com as doses de N para que haja incremento da atividade respiratória, sendo essa resposta relacionada principalmente com a maior quantidade de enzimas chave como rubisco e PEP-case que comandam o processo fotossintético nas plantas de milho (TAIZ et al., 2017).

Essa informação é reforçada pelo que foi relatado por Santos et al. (2018), em que condições limitantes de competição intraespecífica geraram redução da condutância estomática. E quando não existem limitações, principalmente de N, o potencial de condutividade estomática pode ser otimizado (NORMAN; PEARSON; SEARLE, 1995).

Já no que se refere à produtividade de grãos (Figura 3.7), em três doses (200, 250 e 300 kg ha⁻¹ de N) houve maior resposta para a aplicação do redutor de crescimento, com discrepância apenas na dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Portanto, considerando-se a resposta geral, houve superioridade produtiva de cerca de 11% (cerca de 940 kg ha⁻¹ de grãos a mais) com o uso de trinexapaque-etílico.

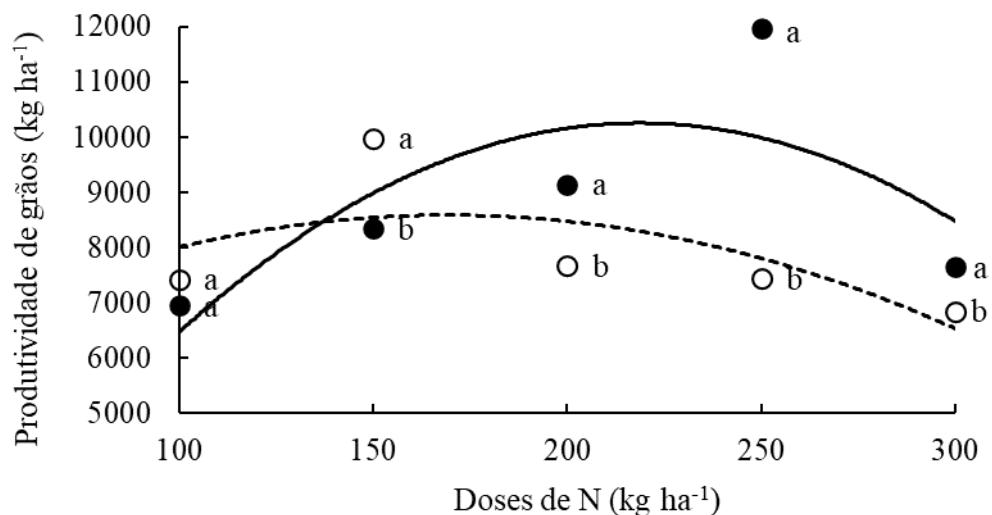
Tal resposta se deve ao incremento dos componentes de produção supramencionados na Tabela 3.6, que possivelmente foram estimulados pelo maior potencial fotossintético das plantas que receberam a aplicação de redutor. Resultados positivos em produtividade grãos também foram relatados por Pricinotto (2014) e Barbosa (2016). No entanto, os autores que obtiveram resposta positiva para esta variável, de forma geral, trabalharam fatores que estimulam o crescimento das plantas de milho (densidade de plantas, doses de nitrogênio e ambientes de produção) e dose de 400 g i.a ha⁻¹ do trinexapaque-etílico, a mesma utilizada no presente estudo.

Para a produtividade de grãos (Figura 3.7) houve interação entre os dois fatores estudados, com adequações quadráticas para ambas condições de redutor de crescimento. Quando aplicado o trinexapaque-etílico, a dose de máxima resposta foi de 218,61 kg de N ha⁻¹. Já quando não se fez o uso do redutor, a dose de máxima resposta foi de 169,34 kg de N ha⁻¹. Porém se comparadas as produtividades nas duas últimas doses de N

aplicadas (250 e 300 kg de N ha⁻¹), foi constatada superioridade dos tratamentos com o uso do redutor.

O que demonstra uma possibilidade de utilização de maiores doses de fertilizante nitrogenado quando se tem maior controle do crescimento vegetativo, o que mantém as plantas menos propensas a acamamento, quebramento e autossombreamento, possibilitando alta produtividade de grãos e estabilidade produtiva da lavoura de milho.

Figura 3.7 – Desdobramento da interação para produtividade de grãos de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico (com = ● e sem = ○) e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.



$$y_{\bullet} = -0,2692x^2 + 117,7x - 2610 \quad y_{\circ} = -0,1203x^2 + 40,745x + 5142,4$$

$$R^2 = 0,59 \quad R^2 = 0,44$$

$$\text{PMR: } 218,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N} \quad \text{PMR} = 169,34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Legenda: PMR = ponto de máxima resposta para o eixo x.

Fonte: o autor.

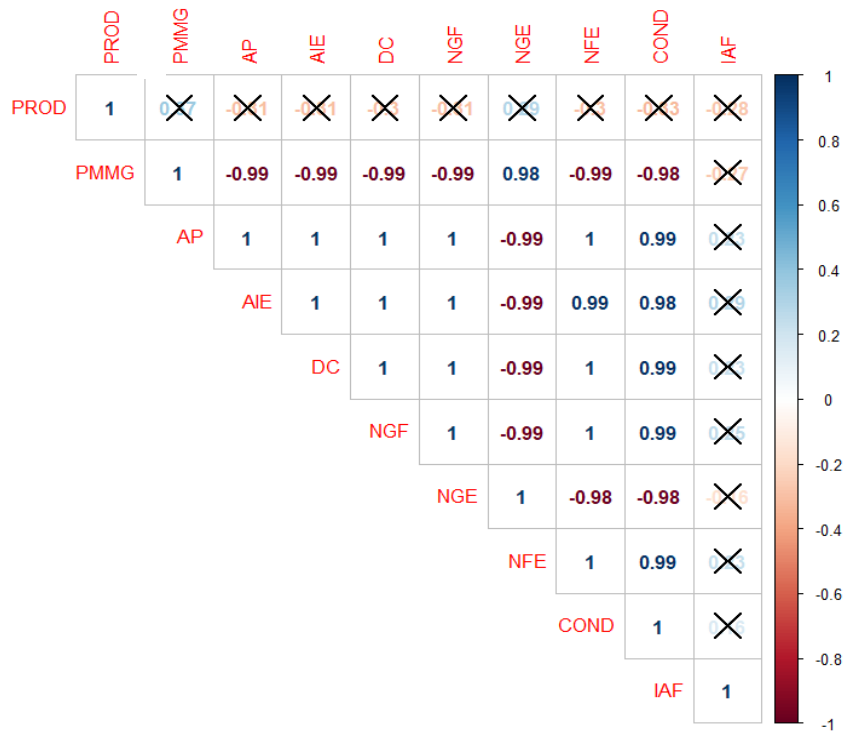
Pricinotto (2014) e Barbosa (2016) também verificaram superioridade produtiva de tratamentos com o redutor de crescimento trinexapaque-etílico, principalmente quando se utiliza o arranjo de plantas adensado, com menor espaçamento entre linhas e maior número de plantas por hectare, o que qualifica a tecnologia como de potencial para lavouras de milho com alto investimento em tecnologia.

Diferente resposta foi identificada por Leolato et al. (2017) em que o redutor de crescimento testado em duas épocas de semeadura e diferentes densidades do milho não favoreceu o desempenho produtivo da lavoura. Isso demonstra que a linha de pesquisa envolvendo o uso de redutor de crescimento para a cultura do milho ainda necessita de mais trabalhos com diferentes condições de ambiente, de interações com fatores produtivos para

que se tenha maior clareza quanto ao potencial de utilização dessa tecnologia para milho.

De forma complementar, o teste de correlação (Figura 3.8), reafirma as considerações anteriormente levantadas, o MMG apresenta correlação positiva com NGE (99%) e negativa com AP (99%), AIE (99%) e DC (99%), NFE (99%) e COND (98%), demonstrando que o redutor de crescimento por suprimir o crescimento vegetativo das plantas de milho proporcionou maior rendimento de grãos.

Figura 3.8 – Correlação de Pearson para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio em cobertura em Londrina-PR.



Apenas correlações acima de 0,93 são significativas pelo teste T de Student, para 5% de significância e o X indica ausência de significância. Legenda: AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; COND = condutância estomática; NGE = número de grãos por espiga; NFE = número de fileiras por espiga; NGF = número de grãos por fileira; PMMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

Destaca-se ainda que a maior condutividade estomática proporcionou maior crescimento vegetativo, e que quanto mais grãos por espiga menor foi a necessidade de crescimento vegetativo (AP, AIE e DC), o que reafirma que a modificação da distribuição de fotoassimilados pelo redutor de crescimento melhora esse componente de produção (NGE).

3.6 Conclusões

O desempenho agrônômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento e das doses de nitrogênio em cobertura, para os dois locais de cultivo.

Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapaque-etílico e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos.

O emprego do redutor de crescimento permite o uso de doses de cerca de 220 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho para o cultivo em Londrina. Para a condição sem aplicação de redutor de crescimento, em ambos os locais, a adubação nitrogenada favoreceu a produtividade de grãos até cerca de 165 kg ha⁻¹ de N.

A produtividade de grãos é correlacionada positivamente com os componentes de rendimento e esses dependem do equilíbrio entre crescimento da planta e formação de estruturas reprodutivas.

Referências

AGROSCIENCES, D. **Catálogo de híbridos 2018**. Agrosiences, Dow, p. 6, 2018.

BARBOSA, A. P. **Regulador de crescimento no sistema produtivo do milho**. 122 p. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina-PR, 2016.

BARBOSA, A. P., ALVES, L. A. R., BERTONCELLI, D. J., FURLAN, F. F., ALVES, G. A. C., BAZZO, J. H. B., ZUCARELI, C. Desempenho fitométrico do milho sob efeito de doses de trinexapaque-etílico e clomazone Phytometric performance of corn on the effect of doses of. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 279–285, 2017.

BRASIL. **Regras para análises de sementes**. Brasília – DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiology**, v. 132, n. 4, p. 2166–2173, 2003.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 87–95, 2016.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2006. Circular técnica, n.78.

D'ARÊDE, L. O.; MATSUMOTO, S. N.; SANTOS, J. L.; et al. Initial vegetative growth of

coffee plants submitted to foliar spraying of paclobutrazol. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 451–462, 2017.

DUARTE, A. P.; ABREU, M. F.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. **Informações agronômicas**, v. set., n. 163, p. 10–16, 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção: Cultura do milho**. 8 eds. Versão eletrônica, out. 2012. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/ autores.htm>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2018. 306p.

FAGHERAZZI, M. M. **Respostas morfo-agronômicas do milho a aplicação de trinexapaque-etílico em diferentes estádios fenológicos e doses de nitrogênio**. 2015. 93p. (Mestrado). Centro de ciências agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

FARIA, A. T.; DA SILVA, A. F.; FERREIRA, E. A.; et al. Alterações nas características fisiológicas da cana-de-açúcar causadas por trinexapac-ethyl. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 200–204, 2014.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1143–1151, 2011.

FUMAGALLI, M.; FIORINI, I. V. A.; MACHADO, R. A. F.; et al. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 425–438, 2018.

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCOPIO, S. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. DE. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina, 2012.

IGLESIAS, Rafael. **Agricultor norte-americano bate recorde mundial de produtividade de milho**. [Pelotas], 2019. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/agricultor-norte-americano-bate-recorde-mundial-de-produtividade-de-milho>. Acesso em: 11 abr. 2020.

KAPPES, C.; ARF, O.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R. e GONZAGA, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2014.

KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade de sementes de aveia-branca. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 739–750, 2015.

LANA, M. D. C.; RAMPIM, L.; OHLAND, T.; FÁVERO, F. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in an Oxisoil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 3, p. 424-433, 2014.

- LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. **Pesquisa agropecuária brasileira**, n. 1, p. 997–1005, 2017.
- LINS, F. J. A.; FERREIRA, P. V.; ASSUNÇÃO, M. C.; FERREIRA, D. Crescimento de genótipos experimentais de milho em função de doses crescentes de nitrogênio. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 2, p. 19–27, 2017.
- MARCHESE, J. A.; SUCHORONCZEK, A.; CIVIEIRO, J. C.; ASCARI, C. L.; FEDRIGO, K. Efeito do trinexapac-ethyl associado à adubação nitrogenada elevada e parcelada na produtividade do trigo cultivar BRS-220. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 105–111, 2016.
- MARCO JUNIOR, J., CORREA, D., NAKAI, E. H. Efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl na produtividade de trigo. **Acta Igazu**, Cascavel, v.2, n.1, p. 14-19, 2013.
- MELO, F. DE B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27–31, 2011.
- NORMAN, M. J. T., PEARSON, C. J. & SEARLE, P. G. E. **The ecology of tropical food crops**. Cambridge University Press. Cambridge, 1995.
- OLIVEIRA, V. D. L.; COELHO, A. E.; BASÍLIO, A. F. Características morfológicas do milho devido ao uso de regulador de crescimento e doses de nitrogênio. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega**, v. 15, n. 15, p. 854–867, 2018.
- PAVINATO, P. S., PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V., MOREIRA, A., MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2017.
- PRICINOTTO, L. F. **Densidades populacionais e regulador de crescimento em híbridos de milho com diferentes arquiteturas**. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Yield and biometric characteristics of maize submitted to plant population and trinexapac-ethyl doses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 667–678, 2019.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B.; OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 14, p. 1735-1742, 2015.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B.; OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 14, p. 1735-1742, 2015.
- RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators : Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015. Springer US.
- RITCHIE, S. W. HANWAY, J. J.; BENSON, G. O.; HERMAN, J. C. **How a corn plant develops**: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service 1993.

- SANGOI, L. Fisiologia do crescimento e desenvolvimento de milho, in: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. (Eds.). **Diversidade e inovação na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto agrônomo/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p.174-196.
- SANGOI, L.; PANISON, F.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. L. Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 61–73, 2019.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2010. 87p.
- SANTOS, A. L. F. DOS; MECI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 52–60, 2018.
- SANTOS, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5a rev. e ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2018.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. MAX; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6º ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF, 2017.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, vol.X, n.3).
- TREWARTH GT, HORN LH. **Introduction to climate**, 5th edn. McGraw Hill, New York, NY, 1980.
- United States Department of Agriculture. **World agricultural production**. [EUA], 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. D. A. DE C.; COSTA, A. G.; SILVA, T. R. DA. Predição De Níveis De Nitrogênio Aplicados À Cultura Do Milho Utilizando Imagens Digitais. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 27, n. 3, p. 227–236, 2019.
- VILELA, R. G.; ARF, O.; GITTI, D. C.; KAPPES, C.; GOES, R. J.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R. Manejos do milheto e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 234–242, 2012.
- ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P. Effect of growth regulator on wheat crop under different nitrogen rates and plant densities. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 471–476, 2002.

4. ARTIGO B

Desempenho fitométrico, produtivo e bioquímico de milho em resposta a épocas de aplicação de trinexapaque-etílico e aumento na densidade populacional

4.1 Resumo - A cultura do milho tem passado por alterações no arranjo espacial, com adensamento das lavouras. O aumento no número de plantas altera a arquitetura da planta, os aspectos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos, e a relação fonte-dreno que geram efeitos sobre a produtividade de grãos por planta e por área. Desta forma, o trabalho teve por objetivo avaliar como o uso do redutor de crescimento trinexapaque-etílico aplicado em diferentes estádios fenológicos e densidades de plantas modifica os parâmetros fitométricos e produtivos da cultura do milho. O experimento foi realizado em duas safras agrícolas na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina-PR, sob o delineamento experimental de blocos completos casualizados, em esquema fatorial (4 x 6), com 4 repetições. Foram avaliadas quatro densidades de plantas (70, 90, 110 e 130 mil plantas ha⁻¹) e cinco manejos de aplicação do redutor de crescimento trinexapaque-etílico na dose de 400 g i.a ha⁻¹ (controle sem aplicação; V6; V9; V12; V6+V9 e V6+V9+V12). As seguintes características foram avaliadas: altura de plantas, altura de inserção de espiga, diâmetro de colmo, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de mil grãos, produtividade de grãos, teor de proteínas solúveis, teor de pigmentos fotossintetizantes e condutância estomática. Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, as médias referentes às épocas de aplicação do redutor de crescimento foram comparadas pelo teste de Tukey e foi realizado estudo de regressão até segundo grau para densidades de plantas, p<0,05. O desempenho agrônômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento nas diferentes fases de desenvolvimento do milho e pela alteração na densidade de plantas, para as duas safras analisadas. O desempenho agrônômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento nas diferentes fases de desenvolvimento do milho e pela alteração na densidade de plantas, para a segunda safra analisada. Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapaque-etílico em diferentes estádios fenológicos das plantas e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos para fases como V9 e V12. O emprego do redutor de crescimento entre V9 e V12, permite o uso de densidades de plantas maiores, cerca de 90.000 plantas por hectare sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho. Os teores de pigmentos fotossintetizantes e proteínas solúveis são alterados pelo uso do redutor de crescimento nas diferentes épocas de aplicação e usos sequenciais e são menos afetados pela densidade de plantas. Há redução da condutância estomática em resposta ao uso de trinexapaque-etílico e incremento da densidade de plantas.

Palavras-chave: Arranjo de plantas, fitorreguladores, redutor de crescimento, *Zea mays* L.

Phytometric, productive and biochemical performance of corn in response to times of application of trinexapac-ethyl and increase in population density

4.2 Abstract – In the culture of corn it is feared by alterations not spatial arrangement, such as increase gives density of crop. Or increase in number of plants alters the architecture of the plant, the physiological, biochemical and morphological aspects, and the phoneme-drainage relationship that we manage on the productivity of grains per plant and area. In this way, I

work for the purpose of evaluating as a reducing use of trinexapac-ethyl growth applied to different phenological stages and plant densities, modifying the phytometric and productive parameters of the culture of corn. The experiment was made with two agricultural trays at Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina-PR, on experimental delineation of complete blocks, my factorial scheme (4 x 6), like 4 repetitions. Was evaluated four plant densities (70, 90, 110 and 130 thousand ha^{-1} plants) and five times of trinexapac-ethyl growth dose of 400 g ha ha^{-1} (control semi-application; V6; V9; V12; V6 + V9 and V6 + V9 + V12). Following are the characteristics that have been evaluated: height of plants, height of insertion of ear, diameter of height, number of rows per ear, number of degrees per row, number of degrees per ear, mass of thousandths, yield of grains, soluble protein content, photosynthetic pigment content and stomatal conductance. The data were submitted to the Shapiro-Wilk and Bartlett tests, the averages for the times of application of the growth reducer were compared by the Tukey test and a regression study was carried out up to the second degree for plant densities, $p < 0.05$. The agronomic performance of corn is altered using the growth reducer in the different stages of corn development and by the change in plant density, for the two analyzed harvests. The agronomic performance of corn is altered using the growth reducer in the different stages of corn development and by the change in plant density, for the second analyzed crop. There is less vegetative growth of corn plants due to the use of trinexapac-ethyl at different phenological stages of the plants and this reflects positively on the performance of the components of grain yield and productivity for phases such as V9 and V12. The use of the growth reducer between V9 and V12, allows the use of higher plant densities, about 90,000 plants per hectare without the negative effect of excessive vegetative growth of corn plants. The levels of photosynthetic pigments and soluble proteins are altered using the growth reducer at different times of application and sequential uses and are less affected by plant density. There is a reduction in stomatal conductance in response to the use of trinexapac-ethyl and an increase in plant density.

Keywords: Arrangement of plants, growth reducer, *Zea mays* L.

4.3 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de importância tanto social como econômica devido à geração de empregos na zona rural, urbana e por estar presente nos diferentes setores da cadeia do agronegócio (GALVÃO et al. 2014). Foi a primeira cultura de grãos a superar a marca de 1 bilhão de toneladas produzidas no mundo e no Brasil é o cereal mais produzido, com cerca de 101 milhões de toneladas, destas, 52% tem por finalidade a alimentação animal (CONTINI et al., 2019; CONAB, 2020).

Dentre os fatores que interferem na produtividade da lavoura de milho, o arranjo de plantas adequado é um dos mais influentes, visto que, a planta de milho possui baixa capacidade de emissão de perfilhos, baixa prolificidade, limitada capacidade de expansão foliar e característica floral monóica (SANGOI et al. 2011). Os componentes de rendimento, dentre eles a massa de grãos, não possuem plasticidade suficiente para compensar reduções no número de plantas por área (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008). Portanto, o

intervalo de densidade populacional é estreito para que se tenha máximo desempenho produtivo da cultura, sendo este específico conforme a condição edafoclimática e genótipo de milho utilizado.

Nesse contexto, a fotossíntese líquida será maior com a maior eficiência de interceptação da radiação pelas plantas, diretamente influenciada pelas condições ambientais a que estiveram sujeitas, pela população e arranjo espacial de plantas utilizado, pelo número e angulação das folhas em relação ao colmo, pela extensão da área foliar e permanência desta em plena atividade (SANGOI et al., 2010).

Atualmente, as lavouras de milho tem sido conduzidas com maior adensamento, que pode ocasionar maior propensão ao estiolamento das plantas, principalmente dos entrenós acima da espiga, ocasionando tombamento e quebraimento das plantas, assim como autossombreamento, que reduz o potencial fotossintético e a redistribuição de fotoassimilados para os órgãos de interesse econômico (SANGOI et al., 2019a).

Nesse sentido, para evitar prejuízos decorrentes do crescimento vegetativo excessivo, é necessário um fator antagônico, que restrinja o crescimento das plantas de milho. Para isso, uma opção é a utilização de redutores de crescimento, que já são bastante utilizados em cereais de inverno e efetivamente reduzem o porte das plantas e controla do acamamento nas lavouras (BAZZO et al., 2018; MARTINS, 2018).

Dentre os redutores de crescimento se destacam os que atuam na rota de síntese da giberelina, como o trinexapaque-etílico, muito utilizado em cereais de inverno (KERBAUY, 2004). Este redutor tem sua ação nas plantas relacionada a redução da alongação dos entrenós no estágio vegetativo das plantas (DAVIES, 1987).

Através da sua influência na fisiologia da planta com o intuito final de aumentar a produtividade, os reguladores de crescimento também promovem alterações nas características arquitetônicas e no porte, facilitam tratos culturais, reduzem a predisposição ao acamamento, possibilitam um aumento na densidade e redução de espaçamento, além de aumentarem a eficiência do uso de recursos como água e radiação solar (ZAGONEL; FERREIRA, 2013, ZHANG et al. 2014).

Os redutores de crescimento em conjunto com diferentes densidades de plantas podem ainda alterar as características bioquímicas das plantas de milho, uma vez que ao modificar o balanço dos hormônios ou precursores desses hormônios, há alteração do teor dos mesmos no tecido vegetal, provocando alterações estruturais e metabólicas que vão resultar em desenvolvimento distinto das plantas (RADEMACHER, 2015). Com possíveis

mudanças na composição de pigmentos fotossintetizantes, proteínas e no metabolismo secundário das plantas de milho.

Em estudos realizados por Pricinotto et al. (2015) e Barbosa (2016), as aplicações foram realizadas em V6, já Fagherazzi (2015) testou aplicações de V2 a V7 e Leolato et al. (2017) realizaram aplicações em V5 e V10, evidenciando que a fase vegetativa é a mais adequada, e que os melhores resultados se aproximam do estágio V6, devido ao início da expansão expressiva do colmo em altura.

No entanto, o contraste de épocas de aplicação em conjunto com fatores que estimulem o crescimento das plantas, como densidades populacionais maiores, ainda não foi explorado e pode demonstrar padrão distinto de crescimento, fisiologia e produção para a cultura do milho. Além disso, em altas densidades o estiolamento será maior em fases finais do crescimento vegetativo, quando a competição por luz fica mais acirrada. Assim, pode ser que aplicações mais tardias ou sequenciais sejam mais efetivas, tanto em reduzir porte como em melhorar a arquitetura foliar das plantas de milho, principalmente acima da inserção da espiga, além de proporcionar alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas.

Desta forma, o trabalho teve por objetivo avaliar como o uso do trinexapaque-etílico aplicado em diferentes estádios fenológicos em associação a densidades de plantas pode modificar parâmetros fitométricos e produtivos da cultura do milho.

4.4 Material e métodos

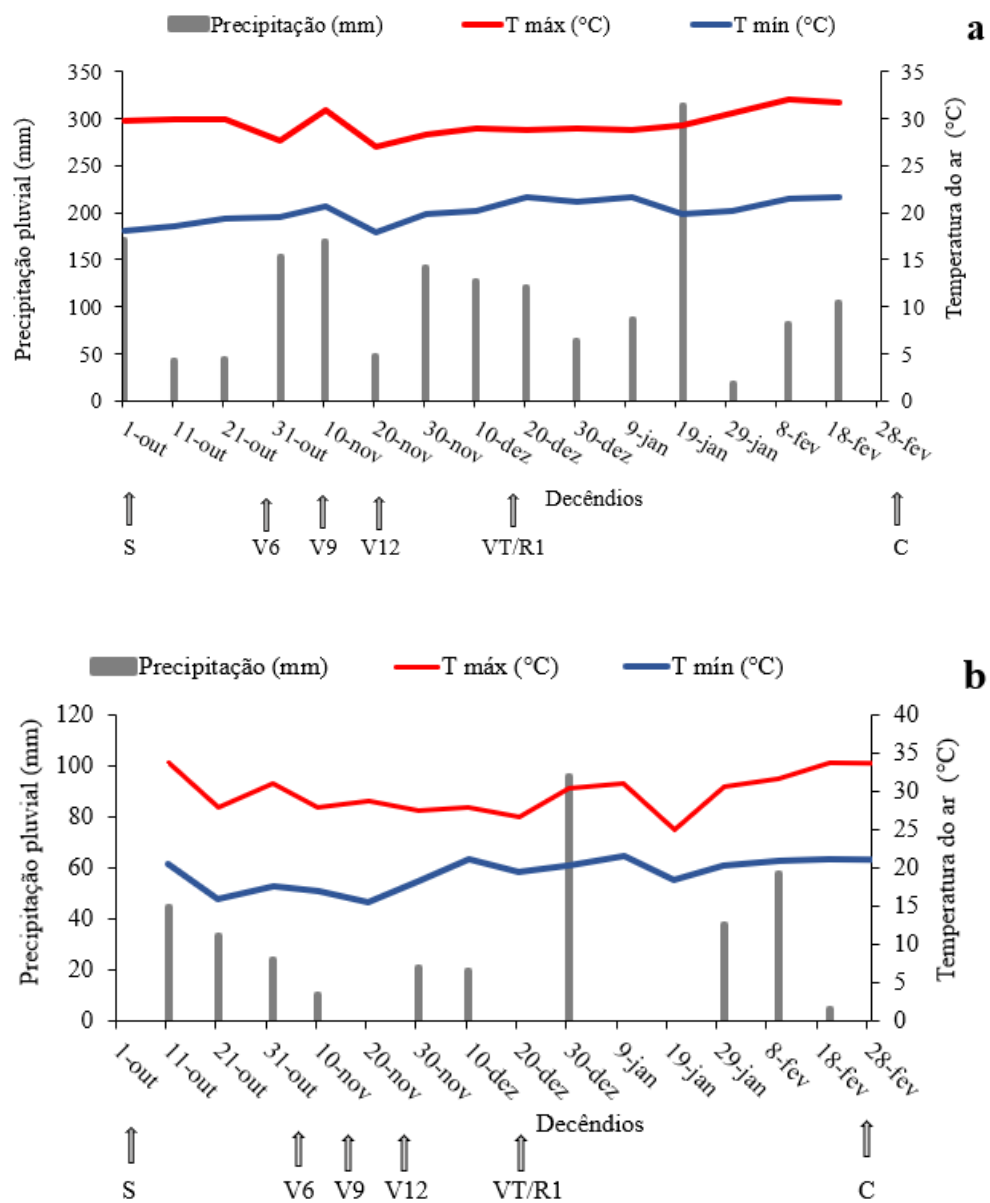
O experimento foi conduzido na primavera/verão em condições de campo, repetido em duas safras, na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, localizada no município de Londrina-PR. A área experimental possui solo caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (EMBRAPA, 2018) e está localizada a 23°20'32" S e 51°12'32" W, numa altitude média de 550 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa, subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas no mês de verão, contudo sem estação seca definida (TREWARTHA; HORN, 1980).

Os dados referentes as médias de precipitação pluvial e temperaturas médias máximas e mínimas, observadas durante o período experimental, foram observadas junto a estação meteorológica situada na sede do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em

Londrina – PR (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Precipitação, temperatura do ar (máxima – T máx e mínima T mín) durante a condução dos experimentos em Londrina nos anos agrícolas 2015/16 (a) e 2016/17 (b), respectivamente.



Legenda: S = semeadura, V6 = aplicação com 6 folhas expandidas, V9 = aplicação com 9 folhas expandidas, V12 = aplicação com 12 folhas expandidas, VT/R1 = aplicação no pendoamento/emissão dos estilo-estigmas e C = colheita do experimento.

Fonte: INMET, 2019.

O solo da área experimental foi manejado no sistema de semeadura direta, e havia sido cultivado com trigo anteriormente. Previamente a instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo da área experimental, na camada de 0 a 20 cm, para análise

química.

A análise química do solo das áreas experimentais apresentou os seguintes dados: safra 2015/16 - pH (CaCl₂) = 5,2; MO = 1,74 %; P = 4,10 mg dm⁻³ (extrator Melich 1); K = 0,62 cmol_c dm⁻³; Ca = 6,04 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,06 cmol_c dm⁻³; Al = 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al = 2,03 cmol_c dm⁻³; CTC = 10,75 cmol_c dm⁻³ e V = 69,25%. Safra 2016/17 - pH (CaCl₂) = 5,8; MO = 1,77 %; P = 4,99 mg dm⁻³ (extrator Melich 1); K = 0,40 cmol_c dm⁻³; Ca = 5,36 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,25 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; H+Al = 3,42 cmol_c dm⁻³; CTC = 10,42 cmol_c dm⁻³ e V = 67,27%.

A adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) na semeadura foi realizada conforme a análise de solo, com dose de 350 kg ha⁻¹ do adubo formulado 10-15-15, seguindo as indicações técnicas da cultura (COELHO, 2006).

Antes da semeadura dos ensaios, as sementes foram tratadas com imidacloprido + tiodicarbe e tiametoxan, nas doses dos produtos comerciais de 300 e 200 mL para cada 60.000 sementes, respectivamente, visando proteger as plântulas de ataque de pragas iniciais da cultura do milho.

O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, em esquema fatorial (4 x 6), com 4 repetições. Os fatores experimentais foram quatro densidades de semeadura (70, 90, 110 e 130 mil plantas ha⁻¹) e cinco tratamentos com épocas de aplicações do redutor de crescimento trinexapaque-etílico, produto comercial Moddus[®] (controle sem aplicação; V6 com 400 g i.a ha⁻¹; V9 com 400 g i.a ha⁻¹; V12 com 400 g i.a ha⁻¹; V6+V9 com acumulado de 400 g i.a ha⁻¹ e V6+V9+V12 com acumulado de 400 g i.a ha⁻¹), todas as aplicações foram realizadas nas fases fenológicas definidas conforme a escala de Ritchie et al., (1993).

A semeadura da área experimental foi realizada conforme zoneamento agrícola da cultura do milho para o município de Londrina nas datas na primeira quinzena de outubro (EMBRAPA, 2012). Foi utilizado o híbrido de milho simples, 2B610PW que possui características de alta produtividade e precocidade de ciclo (860 graus dias), além de arquitetura moderna de planta e alta eficiência de resposta a adubação. A indicação de densidade de plantas para a primeira safra é de 70 mil plantas por hectare (DOW, 2016).

Cada parcela experimental foi constituída por 6 linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,45 m (área total de 13,5 m²). Foi considerada como área útil de cada parcela experimental as 4 linhas centrais com 4 m de comprimento, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade, totalizando 7,2 m², para os dois anos agrícolas.

O redutor de crescimento vegetal, trinexapaque-etílico, foi aplicado via foliar na cultura do milho com o uso de pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com barra de pulverização de 2,5 m de comprimento e seis pontas XR de jato tipo leque, com pressão de 30 psi e taxa de aplicação constante de 150 L ha⁻¹ a uma altura de 50 cm acima do dossel da cultura.

A determinação das densidades de plantas foi estabelecida em V2, 10 dias após a emergência (DAE), em que foi realizado o desbaste das parcelas, com adequação de cada uma conforme as densidades pré-definidas (70; 90; 110 e 130 mil plantas por hectare).

A aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada na dose de 200 kg ha⁻¹ de forma parcelada nos estádios V3 e V6 da cultura (20 e 30 DAE), sendo 50% da dose em cada estágio fenológico. Como fonte de nitrogênio foi utilizado a ureia com 45% de nitrogênio em sua composição, e a aplicação foi realizada após a ocorrência de precipitação pluvial para reduzir perdas e maximizar a absorção pelas plantas.

Foram realizados os tratos culturais e manejo de plantas daninhas, pragas e doenças de acordo com as recomendações do Sistema de Produção da Cultura do Milho (EMBRAPA, 2012). No caso do manejo de plantas daninhas foi realizado a dessecação da área com o herbicida glyphosate (1068 g e.a. ha⁻¹) e uma aplicação em pós-emergência de atrazina (2500 g i.a. ha⁻¹).

A aplicação de inseticidas e fungicidas durante foi realizada conforme identificação de necessidade durante a condução das parcelas experimentais, para tanto foi realizado monitoramento semanal durante todo o período de condução dos experimentos.

Foram avaliadas as seguintes características nas duas safras de condução dos experimentos: altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro de colmo (DC), índice de área foliar (IAF), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD).

E de forma complementar, apenas no segundo ano de condução do experimento, foram avaliados parâmetros bioquímicos e fisiológicos das plantas de milho, foram eles: teor de proteínas solúveis das folhas (PROT), teor de pigmentos fotossintetizantes – clorofila A (CLORA), clorofila B (CLORB) e carotenoides (CAROT), além da condutância estomática das folhas.

As avaliações foram iniciadas após o florescimento pleno da cultura (R1/R2), em que foram tomadas dez plantas ao acaso dentro da área útil das parcelas e avaliadas a altura de plantas (AP) e de inserção de espigas (AIE) em centímetros, por meio da

aferição da distância entre a superfície do solo e base do pendão e da espiga principal, respectivamente.

As mesmas dez plantas foram utilizadas para avaliação do diâmetro de colmo (DC) em milímetros, o qual foi aferido com auxílio de paquímetro no terço mediano do segundo internódio, a partir da base da planta, no sentido do menor diâmetro.

Foi determinado o índice de área foliar (IAF), expresso em m² de folha por m² de superfície de solo, estimado com base na aferição do comprimento total (C) e largura do terço médio (L) das folhas fotossinteticamente ativas de dez plantas na área útil de cada parcela. Os dados foram submetidos à seguinte expressão, proposta por Francis (1969): $IAF = ((0,75 * C * L)) / ((e1 * e2))$, em que e1 e e2 referem-se ao espaçamento entre plantas em metros na linha de semeadura e entre as linhas, respectivamente.

Após o término do ciclo da cultura, especificamente na maturação de colheita (aproximadamente 20% de umidade nos grãos) foram colhidas as espigas da área útil das parcelas (7,2 m²). Separou-se aleatoriamente dez espigas de cada parcela, nas quais foram avaliados por meio de simples contagem o número de fileiras de grãos por espiga, o número de grãos por fileira e por multiplicação de ambos, o número de grãos por espiga (NGE).

Posteriormente a debulha de todas as espigas da área útil de cada parcela, foram aferidas a massa de mil grãos (MMG) e calculada a produtividade de grãos (PROD). A massa de mil grãos foi determinada conforme metodologia proposta por Brasil (2009) e expressa em gramas. A produtividade de grãos foi determinada pela pesagem dos grãos produzidos na área útil, com massa corrigida para umidade de 130 g de água por quilograma de grão e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Para a determinação do teor de proteínas solúveis das folhas (PROT), inicialmente, foi obtida a curva padrão de proteína a partir de uma solução de soro albumina bovina (BSA) para possibilidade de comparação com os extratos vegetais e correta determinação do teor de proteínas das amostras. As folhas opostas à espiga foram coletadas na fase de floração VT/R1, essas foram higienizadas, envolvidas em papel alumínio e posteriormente congeladas a -20°C.

Em seguida foi pesado 1 g de material vegetal fresco, esse foi colocado em almofariz, então o material foi macerado com auxílio de nitrogênio líquido. Adicionados 10 mL de tampão fosfato de potássio 0,2 molar pH 7,5 (14,52 g de K₂HPO₄ L⁻¹ + 2,27 g de KH₂PO₄ L⁻¹ + 0,372 g de EDTA L⁻¹ + 1,0 g PVPPL⁻¹). Foram transferidos dois mL para um eppendorf, posterior a isso as amostras foram centrifugadas durante 5 minutos a 12.000 rpm a 4°C, então foram transferidos 40 microlitros do sobrenadante para um tubo de ensaio e se

adicionará 460 microlitros de água destilada e 1 mL do reagente bio-rad diluído.

As amostras foram agitadas em vortex por 10 segundos e a leitura da absorvância em espectrofotômetro UV do modelo BIOMATE 3 a 595 nm. Os valores obtidos foram convertidos em quantidade total de proteína solúvel mg por g de tecido vegetal, conforme a fórmula: $Proteína = 1 * ((absorbância + 0,0202) * 0,0041) / (0,04 * peso \text{ da amostra} / 5) / 1000$, adaptada de Bradford (1976).

Para a determinação do teor de pigmentos fotossintetizantes foram coletadas as folhas opostas à espiga, de cinco plantas por parcela, e retiradas amostras de 0,2 g de tecido foliar fresco também durante o período de florescimento da cultura (VT/R1), essas foram armazenadas em frascos com solução (10 mL) de 80% de acetona, para extração dos pigmentos.

Posteriormente os extratos foram filtrados e as leituras realizadas em espectrofotômetro UV, nos comprimentos de onda de 663, 645 e 434 para clorofilas a, b e carotenoides respectivamente. As determinações dos teores de pigmentos em miligramas por grama de massa fresca ($mg \text{ gm}^{-1}$) basearam-se nas equações relacionadas a seguir, segundo Whitham et al. (1971).

$$Clorofila \ a = (11,24 \times A_{663} - 2,04 \times A_{645})$$

$$Clorofila \ b = (20,13 \times A_{645} - 4,19 \times A_{663})$$

$$Carotenoides = (1000 \times A_{434} - 1,90 \times Clorofila \ a - 63,14 \times Clorofila \ b) / 214.$$

A condutância estomática das folhas opostas à espiga foi aferida por ocasião do florescimento (VT/R1), em cinco plantas por parcela, com auxílio de um medidor portátil leaf porometer do fabricante DECAGON DEVICES, INC, os valores da pressão de gases foram expressos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

O tratamento estatístico foi realizado separadamente para as duas safras. Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, para determinação da normalidade e homogeneidade dos resíduos. Após constatados os pressupostos supramencionados, foi realizada a análise de variância, em ambos foi considerado 5% de probabilidade de erros ($p < 0,05$).

Nos casos que ocorreram efeitos significativos, o fator qualitativo (épocas de aplicação do redutor de crescimento - trinexapaque-etílico) foi comparado pelo teste de Tukey. O fator quantitativo (densidade de plantas por hectare) foi submetido a estudo de regressão, em que foram considerados os modelos linear e polinomial ($p < 0,05$).

4.5 Resultados e discussão

Para as safras em que foram conduzidos os experimentos a campo, destaca-se que na primeira a condição hídrica foi mais adequada em relação à distribuição das precipitações pluviais, principalmente no que se refere ao período de florescimento e enchimento de grãos do milho (Figura 4.1a).

Isso gerou maior estabilidade para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e poucas alterações foram percebidas em resposta ao adensamento das plantas devido ao ambiente estar mais favorável.

Já na segunda safra, houve períodos mais longos de restrição das chuvas durante a fase reprodutiva da lavoura (Figura 4.1b), havendo consequências notáveis sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, inclusive com interação mais evidente entre os fatores experimentais de épocas de aplicação do redutor de crescimento e densidades de plantas. Em que o efeito do trinexapaque-etílico foi maximizado e o adensamento de plantas também foi mais sentido nos componentes de produção.

Nessa segunda safra ainda se notou alterações significativas em aspectos fisiológicos e bioquímicos das plantas de milho em resposta às épocas de aplicação do redutor de crescimento, evidenciando que a modificação da arquitetura, morfologia e capacidade produtiva das plantas está diretamente atrelada às mudanças de compostos metabólicos.

Primeira safra

Foi constatado efeito significativo apenas para a épocas de aplicação para as variáveis altura de plantas, índice de colheita, número de grãos por espiga e produtividade de grãos. Altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo apresentaram efeito significativo para épocas de aplicação e densidade de plantas de forma isolada.

Apenas o índice de área foliar apresentou significância para a interação entre épocas de aplicação e densidade de plantas. Essa resposta difere do que era esperado, uma vez que não houve interação entre os fatores experimentais para a maioria das avaliações realizadas, o que se deve em grande medida ao bom andamento das condições ambientais, principalmente precipitações pluviais (Figura 4.1a) durante a safra, que proporcionou um ambiente sem restrições e desfavoreceu a ocorrência de diferenças para as densidades de plantas e por consequência reduziu a interação deste fator com a época de aplicação do redutor de crescimento.

Tabela 4.1 – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de grãos de milho em função das

FV	GL	AP	AIE	DC	IAF	IC	NGE	MMG	PROD
Bloco	3	48,2 ^{ns}	32,71 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2776 ^{ns}	2578*	8135015**
EA	5	6405**	984**	12,24*	6,18**	0,06**	10841**	577 ^{ns}	4155830**
DP	3	156,8 ^{ns}	126**	24,24**	27,86**	0,00 ^{ns}	3289 ^{ns}	1358 ^{ns}	638082 ^{ns}
EA x DP	15	94,6 ^{ns}	53,5 ^{ns}	3,46	0,81**	0,02 ^{ns}	2502 ^{ns}	516 ^{ns}	909057 ^{ns}
Erro	69	82,4	29,29	2,83	0,22	0,01	2006	671	1123761
CV (%)		4,78	4,45	8,27	9,84	19,59	8,38	7,91	20,15

épocas de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.

^{ns} = não significativo (p<0,05); * = significativo (p<0,05) e ** = significativo (p<0,001).

Legenda: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; EA = épocas de aplicação de trinexapaque-etílico; DP = densidade de plantas de milho; CV = coeficiente de variação; AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; IC = Índice de colheita aparente; NGE = número de grãos por espiga; MMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

Em relação ao porte das plantas de milho (Tabela 4.2), representado pelas variáveis AP e AIE, foi observada redução de até 55 cm para AP e até 21 cm para AIE, com redução mais efetiva observada para aplicações sequenciais de redutor de crescimento em V6, V9 e V12, que diferiram das aplicações isoladas em V6 e V9. No entanto, aplicações isoladas nesses estádios fenológicos também ocasionaram redução de porte.

Já no que se refere ao DC, apenas a aplicação sequencial reduziu de forma efetiva a espessura dessa estrutura, o que também se relacionou diretamente com o uso do redutor de crescimento, ressalta-se que essa redução pode interferir na capacidade de armazenamento de reservas no colmo, não sendo desejável para a cultura do milho.

Essa resposta se relaciona de forma direta com a ação de inibição da produção de giberelinas pelas plantas de milho ocasionada pelo redutor de crescimento trinexapaque-etílico, que tem como efeito principal a diminuição da expansão celular, e consequentemente do tamanho dos entrenós.

Essa redução de crescimento das plantas de milho também foi relatada por Leolato et al. (2017), em resposta à aplicação do trinexapaque-etílico entre as fases de V5 e V10, com cerca de 6 cm em média de redução da estatura das plantas, o que comprova a eficiência do uso dessa técnica e sua possibilidade de uso no sistema de produção da cultura.

Quanto ao IC (Tabela 4.2) destaca-se a fase de aplicação do redutor de

crescimento em V12 e obteve maior eficiência das plantas em formação de grãos que as épocas de aplicação em V6, V9 e V6+V9. Esse resultado se deve em parte pela alteração intensa do crescimento das folhas acima da espiga da planta de milho, que por terem seu comprimento reduzido, favoreceram a eficiência fotossintética e interceptação luminosa, que resultou em maior massa de grãos nas plantas.

Zagonel et al. (2014), ao avaliarem o índice de colheita na cultura do trigo em resposta a aplicação do redutor de crescimento trinexapaque-etílico em distintas fases de desenvolvimento, não constataram diferença, isso se deve em parte à capacidade de plasticidade do trigo, perfilhamento e ajuste de seus componentes de rendimento.

Para milho no entanto, a pequena plasticidade e baixa prolificidade da cultura favorecem a intensidade da alteração dos componentes de rendimento na espiga, como o número de grãos e o a massa destes, havendo, como constatada, a mudança do IC, devido a esse índice representar a participação dos grãos no peso seco da planta no momento da colheita.

Por isso é que aplicação em V12 obteve maior influência na arquitetura da parte superior do dossel das plantas de milho, ocasionando maior capacidade de produção de grãos e por consequência maior IC.

Para a cultura do milho essa realidade é distinta, uma vez que o perfilhamento não é comum e a prolificidade das plantas é baixa, havendo então maior propensão para que ocorra a alteração na eficiência de produção de grãos pelas plantas, que altera o IC por consequência, e no presente trabalho isso foi positivo em determinadas épocas de aplicação do redutor de crescimento, como percebido em V12, porém, não houve diferença em relação ao controle sem aplicação do redutor de crescimento.

Já para o NGE, também na tabela 4.2, resultados positivos ocorreram nas aplicações de V12 e nas sequenciais de V6+V9 e V6+V9+V12, que demonstraram que aplicações do redutor de crescimento durante a fase de mais intensa de alongamento do colmo são relevantes para melhorar a arquitetura da parte superior do dossel que resulta em maior número de grãos nas espigas. Porém, não foi constatada diferença em relação ao controle sem aplicação.

Em resposta ao incremento de eficiência da produção de grãos demonstrada nas características anteriores para as aplicações do trinexapaque-etílico em V12 e nas sequenciais de V6+V9 e V6+V9+V12 (Tabela 4.2) se repete na produtividade de grãos, com diferença expressiva da aplicação em V9, com valores acima de cinco toneladas, e acréscimos de até 8% em relação à condição sem aplicação do redutor de crescimento.

Tabela 4.2 – Altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AIE), índice de colheita (IC), diâmetro de colmo (DC) número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos (PROD), em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Característica avaliada					
	AP** (cm)	AIE** (cm)	DC* (mm)	IC**	NGE**	PROD** (kg ha ⁻¹)
Sem aplicação	215,15 a	132,87 a	20,54 ab	0,52 abc	530,61 ab	5331,12 ab
V6	201,85 b	127,71 ab	20,87 a	0,57 ab	486,98 b	5197,47 ab
V9	200,07 b	119,58 c	21,42 a	0,43 c	530,63 ab	4307,41 b
V12	173,75 d	121,89 bc	19,80 ab	0,58 a	546,55 a	5803,86 a
V6+V9	188,97 c	116,14 cd	20,58 ab	0,47 bc	561,22 a	5506,21 a
V6+V9+V12	160,64 e	111,15 d	18,93 b	0,53 abc	549,99 a	5420,96 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico *(p<0,05) e **(p<0,001).

Legenda: AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IC = Índice de colheita aparente; NGE = número de grãos por espiga e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

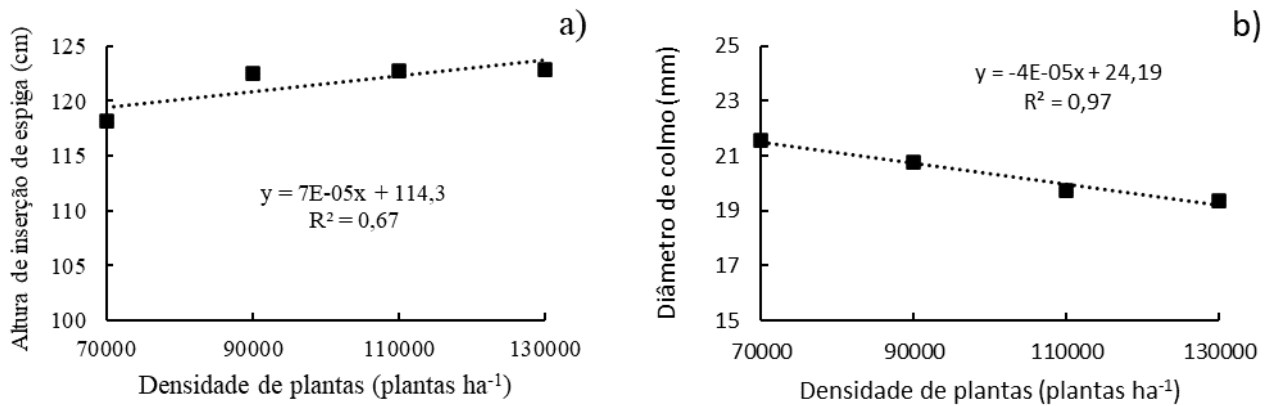
Ressalta-se, porém, que a produtividade de forma geral se manteve abaixo do esperado para a safra de verão, possivelmente em função das condições ambientais durante o período (Figura 4.1a).

Resultados de aumento na eficiência da produção de grãos e mesmo na produtividade de grãos de milho são ainda escassos na literatura, relatos como o de Barbosa (2016) que obteve um aumento de produtividade de aproximadamente 6 a 25%, e Priccinoto et al. (2019) que obtiveram um aumento de produtividade de aproximadamente 3 a 4%, destacam o uso de redutor de crescimento como opção para incrementos produtivos na cultura do milho.

Quanto ao efeito da densidade de plantas sobre a AIE e o DC (Figura 4.2), foi constatado efeito linear crescente para AIE e decrescente para DC, com taxas de acréscimo e decréscimo de 0,7 cm e 0,4 mm, respectivamente.

Essa resposta evidencia que o adensamento se relaciona com estímulo do aumento do comprimento dos entrenós, e de forma concomitante com a restrição da espessura do colmo das plantas, que por vezes predispõe as plantas ao tombamento e acamamento que prejudicam a produtividade de grãos das plantas.

Figura 4.2 – Altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.



De forma semelhante Ferreira et al. (2015) constataram que aumentos na densidade de plantas de milho de 40 a 100 mil plantas por hectare, proporcionaram incremento na altura das plantas, na altura de inserção de espigas e diminuição do diâmetro de colmos, que são características morfológicas moldáveis em resposta à competição intraespecífica e autossombreamento das plantas.

Para a variável IAF (Tabela 4.3), foi constatada redução mais intensa de área foliar para a fase V6 e para as aplicações sequenciais em V6, V9 e V12. O trinexapaque-etílico atua nas plantas reduzindo a alongação celular no estado vegetativo, obstruindo a biossíntese de ácido giberélico (GA₁), por inibir a enzima 3 beta hidroxidase (NAKAYAMA et al., 1990). Conforme trabalho de Fialho et al. (2009), a redução de área foliar foi evidente em braquiária.

Portanto, destaca-se que quanto mais cedo é realizada a aplicação do trinexapaque-etílico, maior o efeito na redução de comprimento e largura das folhas em geral, que acaba por diminuir área foliar da planta. E, quanto mais tarde a aplicação do redutor ocorre, é possível perceber o efeito de redução de crescimento mais intenso nas folhas superiores do dossel, o que acaba por minimizar o efeito sobre a área foliar total das plantas, e por consequência no IAF da lavoura de milho.

Ainda em relação à variável IAF (Figura 4.2), houve intenso acréscimo dessa variável em resposta ao incremento na população de plantas de milho, com taxa de acréscimo de 0,3 (Figura 4.2a) a 0,6 (Figura 4.2d) no IAF a cada 10.000 plantas adicionadas conforme as fases de aplicação do trinexapaque-etílico.

Os resultados obtidos demonstram que alterações do arranjo de plantas, principalmente o adensamento, resulta em alteração do crescimento das plantas, que gera nesse caso maior autossombreamento e competição por radiação solar, com reflexos no desempenho produtivo da lavoura.

Tabela 4.3 – Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	3,89 a	3,94 bc	5,48 ab	5,43 bc
V6	3,18 a	3,64 c	3,75 d	4,93 c
V9	3,80 a	4,79 ab	6,03 a	6,81 a
V12	3,67 a	5,20 a	5,87 ab	7,20 a
V6+V9	3,01 a	4,07 bc	4,92 bc	6,30 ab
V6+V9+V12	3,28 a	4,30 abc	4,11 cd	5,39 bc

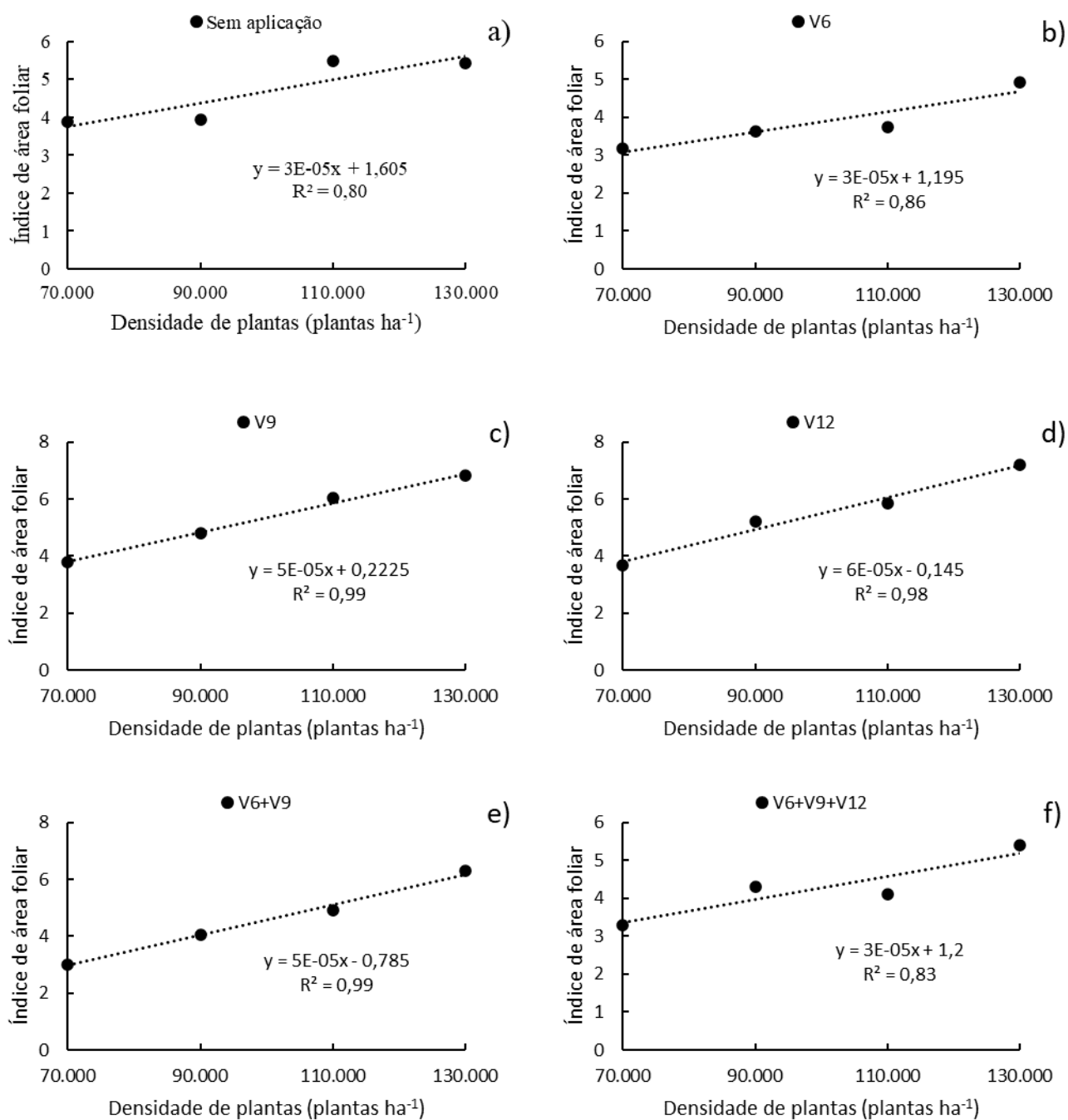
Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico ($p < 0,001$).

Fonte: o autor.

Em trabalho realizado por Leolato et al. (2017), em que a variação das densidades de plantas testada foi de 50 a 110 mil plantas por hectare, ocorrendo o mesmo padrão quanto ao IAF, com incremento linear em resposta ao aumento no número de plantas por área.

Já que mesmo não havendo alteração da área foliar individualmente por planta, essas plantas adicionais na população incrementam a sobreposição de folhas ao solo, que gera maior IAF. Sangoi et al (2019b) também observaram esse efeito para o IAF, com um acréscimo de 0,52 a 0,58 do IAF a cada planta por m⁻² adicionada, padrão que ocorreu para dois espaçamentos entre fileiras (0,4 e 0,8 m).

Figura 4.3 – Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 1.



Segunda safra

Foi constatado efeito significativo isolado das épocas de aplicação para o número de grãos por espiga. Altura de plantas, altura de inserção de espiga, diâmetro de colmo, índice de área foliar, índice de colheita e produtividade de grãos apresentaram efeito significativo para a interação entre as épocas de aplicação do redutor de crescimento e a densidade de plantas.

Apenas a massa de mil grãos não apresentou significância para nenhum dos fatores estudados (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Resumo da análise de variância para as características fitométricas, componentes de produção e produtividade de grãos de milho em função da época de aplicação de trinexapaque-etflico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

FV	GL	AP	AIE	DC	IAF	IC	NGE	MMG	PROD
Bloco	3	46,16 ^{ns}	5,05 ^{ns}	4,67*	0,29 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2128 ^{ns}	1061,52 ^{ns}	341315 ^{ns}
EA	5	819,31**	1443,01**	10,82**	5,71**	0,04**	51504**	865,75 ^{ns}	8041014**
DP	3	119,46 ^{ns}	157,88**	0,51 ^{ns}	4,34**	0,01 ^{ns}	7832 ^{ns}	204,59 ^{ns}	1515726 ^{ns}
EA x DP	15	134,42**	52,64**	2,69**	5,88**	0,02*	6649 ^{ns}	600,97 ^{ns}	1479190**
Erro	69	50,52	22,19	1,15	0,23	0,01	5425	570,99 ^{ns}	636486
CV (%)		2,69	2,94	4,45	9,83	19,21	16,17	7,26	14,55

^{ns} = não significativo (p<0,05); * = significativo (p<0,05) e ** = significativo (p<0,001).

Legenda: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; EA = época de aplicação de trinexapaque-etflico; DP = densidade de plantas de milho; CV = coeficiente de variação; AP = altura de planta; AIE = altura de inserção de espiga; DC = diâmetro de colmo; IAF = índice de área foliar; IC = Índice de colheita aparente; NGE = número de grãos por espiga; MMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade de grãos.

Fonte: o autor.

Em relação as características de crescimento das plantas de milho (Tabela 4.5, 4.6 e 4.7). Para a AP foi observada redução de 6 a 9% entre as densidades de 70 e 90 mil plantas por hectare para a aplicação de redutor de crescimento em V12 e para as densidades de 110 e 130 mil plantas por hectare, com aplicação em V9, ocorre redução da AP entre 7 e 8%.

Já para AIE (Tabela 4.6), não foram observadas reduções efetivas para as aplicações de redutor de crescimento, com menores valores de AIE para a condição sem redutor de crescimento. Que se relaciona ao efeito ambiental do estresse ocasionado pelos períodos mais longos sem chuvas durante o período de alongamento do colmo, que pode ter gerado desuniformidade entre as plantas de milho.

Tabela 4.5 – Desdobramento da interação significativa para altura de plantas em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	272,33 a	268,98 ab	272,69 a	271,35 ab
V6	264,40 a	261,15 bc	264,75 a	263,45 abc
V9	269,48 a	255,25 bc	249,35 b	253,80 c
V12	249,45 b	253,93 c	260,83 ab	260,50 bc
V6+V9	273,39 a	277,48 a	265,18 a	278,15 a
V6+V9+V12	266,38 a	255,63 bc	265,20 a	272,93 ab

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico ($p < 0,001$).

Fonte: o autor.

Conforme trabalho de Barbosa (2016), o redutor de crescimento trinexapaque-etílico possibilita redução de porte em plantas de milho de 1 a 7% em relação às plantas sem tratamento, conforme o aumento das doses aplicadas do redutor, que nesse trabalho especificamente chegaram até 400 g i.a ha⁻¹, em diferentes ambientes de produção.

Mendes Fagherazzi et al. (2018) também utilizaram redutor de crescimento em milho em diferentes estádios fenológicos e utilizaram aplicações sequenciais, e de forma semelhante ao presente trabalho observaram redução da altura de plantas, com até 45% de redução, que comprova a eficiência do produto.

No entanto, o trabalho citado testou doses de até 600 g i.a ha⁻¹, com 6 aplicações entre V2 e V7, que explica a drástica redução de crescimento.

Nesse contexto, é possível potencializar o desempenho das plantas de milho, reduzindo o excesso de crescimento vegetativo, melhorando a arquitetura do dossel e favorecendo a interceptação da radiação solar com a influência do redutor de crescimento, mesmo quando existem fatores que incrementam o crescimento das plantas, seja adubações nitrogenadas ou adensamento das plantas.

Tabela 4.6 – Desdobramento da interação significativa para altura de inserção de espigas em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	138,61 c	146,59 c	139,93 c	144,18 c
V6	167,08 ab	161,30 b	162,30 ab	165,20 ab
V9	166,80 ab	155,95 bc	152,95 b	169,08 a
V12	158,68 b	157,93 b	158,42 ab	158,20 b
V6+V9	168,73 a	173,10 a	164,85 a	173,30 a
V6+V9+V12	164,93 ab	163,55 ab	161,73 ab	167,13 ab

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico ($p < 0,001$).

Fonte: o autor.

Já no que se refere ao DC (Tabela 4.7), a aplicação do redutor de crescimento apenas em V12 gerou uma redução de 11% quando utilizada a densidade de 70 mil plantas por hectare. Já a aplicação sequencial (V6+V9+V12) reduziu de forma efetiva a espessura dessa estrutura de 6 a 10%, o que também se relacionou diretamente com as densidades de plantas entre 90 e 130 mil plantas por hectare.

O que se relaciona com a competição intraespecífica que é mais intensa conforme se incrementa a quantidade de plantas da área de produção.

Barbosa (2016) relatou a redução do DC das plantas de milho em resposta ao redutor de crescimento trinexapaque-etílico, porém com aplicação realizada no estágio fenológico V6. Já Kuneski et al. (2017), relataram que a aplicação de trinexapaque-etílico proporcionou menores taxas de redução do diâmetro de colmo em função do efeito do adensamento de plantas de milho.

Ambos demonstram que a inibição da biossíntese de giberelinas pelo redutor de crescimento não afeta apenas a alongação do colmo, mas seu crescimento em espessura, podendo também afetar a capacidade de armazenamento de fotoassimilados nessa estrutura e alterar a dinâmica de translocação durante o enchimento de grãos das plantas de milho.

Tabela 4.7 – Desdobramento da interação significativa para diâmetro de colmo em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	24,92 a	23,84 ab	24,30 ab	23,86 ab
V6	25,43 a	24,33 a	24,80 a	24,35 ab
V9	24,30 ab	25,23 a	25,38 a	24,83 ab
V12	22,30 b	24,15 a	23,83 ab	25,10 a
V6+V9	23,63 ab	24,98 a	23,53 ab	25,10 a
V6+V9+V12	23,70 ab	21,78 b	22,30 b	22,73 b

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico ($p < 0,001$).

Fonte: o autor.

Em relação ao desdobramento da interação entre fases de aplicação do redutor de crescimento e as densidades de plantas estudadas (Figura 4.3), há evidente alteração nas características de crescimento devido ao efeito conjunto desses fatores, e percebe-se padrão polinomial de resposta nas aplicações do redutor de crescimento em V9 e sequencial (V6+V9+V12) para AP e AIE, com pontos de mínima resposta da AP em 130.000 e 110.000 plantas por hectare para as respectivas épocas. Já a AIE teve ponto de mínima resposta em 85.000 plantas por hectare para a aplicação na fase V9.

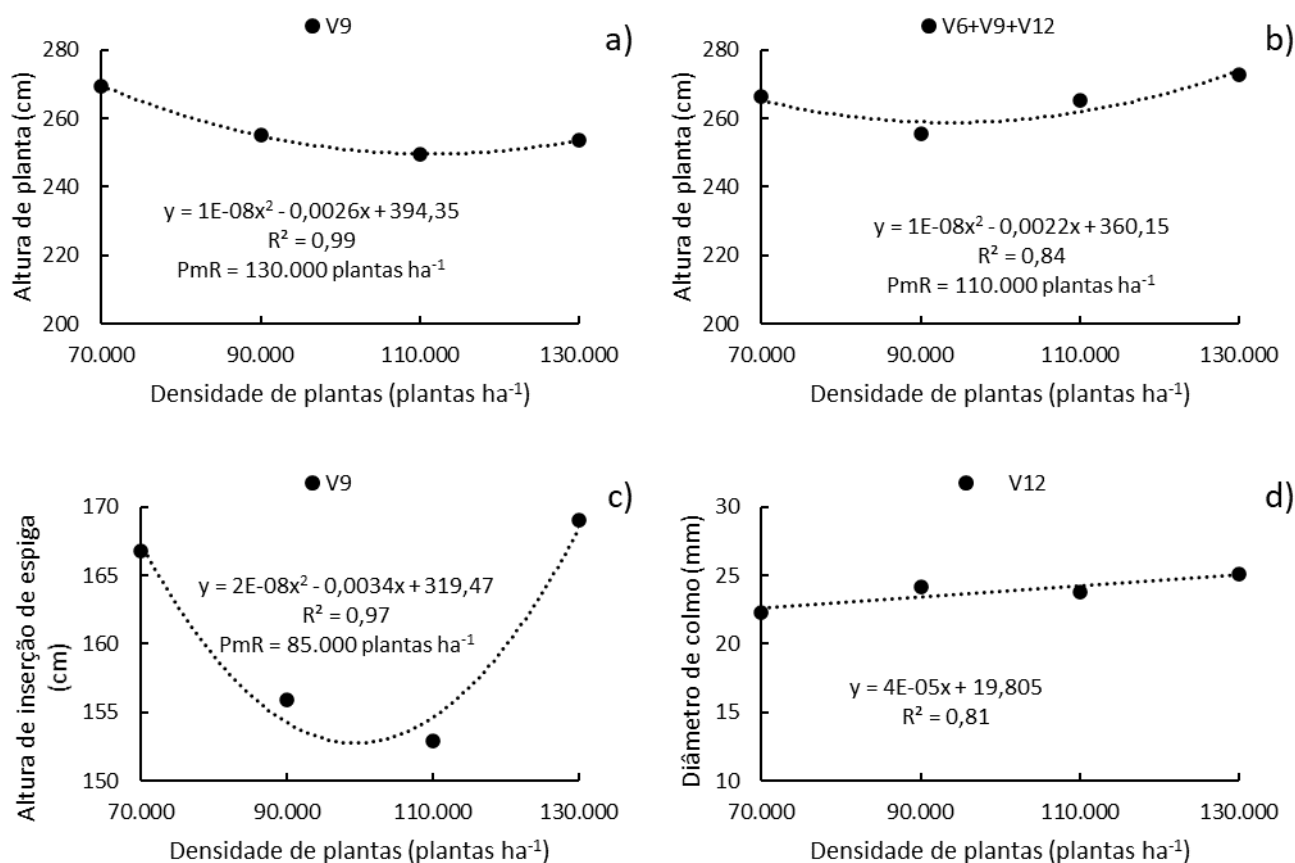
Essa redução se deve em parte ao efeito de estiolamento nas plantas de milho que foi postergado com o uso do redutor de crescimento nas épocas de aplicação em V9 e a sequencial V6+V9+V12, se deve ao menor comprimento dos entrenós, evitando o crescimento excessivo das plantas (Tabela 4.5).

O efeito de estiolamento das plantas se deve a menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas em densidades elevadas, o que estimula a alongação celular (SALISBURY e ROSS, 1992). Dessa forma, os entrenós do colmo ficam mais longos, a estatura da planta e a altura de inserção de espigas é acrescida.

Para o DC apresentado na Figura 4.3d, é notado um padrão de acréscimo do diâmetro das plantas mesmo com o incremento da densidade de plantas de milho, isso devido ao efeito do trinexapaque-etílico aplicado em V12, que promove a redução dos entrenós e por consequência o incremento na espessura dessa estrutura da planta de milho. Pricinotto et al. (2019) e Leolato et al. (2017) demonstraram a redução do DC em resposta ao aumento na

densidade de plantas devido ao estiolamento das plantas, não havendo, porém, um efeito contrário evidente do redutor de crescimento, que pode minimizar essa redução do DC.

Figura 4.4 – Desdobramento da interação significativa para altura de plantas (a b) e altura de inserção de espiga (c) e diâmetro de colmo (d) em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.



Para a AF (Tabela 4.8), foi notável o acréscimo do índice nas menores densidade (70.000 e 90.000 plantas por hectare) em aplicação sequencial de redutor de crescimento em V6 e V9, já nas maiores densidades (110.000 e 130.000 plantas por hectare) esse mesmo efeito foi observado para a aplicação em V6.

Com isso é possível identificar que aplicações do redutor de crescimento entre V6 e V9 geram alterações na arquitetura do dossel e das plantas de milho, principalmente com redução do comprimento das folhas e aumento na largura destas, principalmente na parte mediana e base da folha. Essa modificação somada ao menor comprimento de entrenós, gerou maior área foliar. A resposta de aumento na área foliar das plantas já havia sido relatada por Pricinotto et al. (2019), também em resposta ao uso de

reductor de crescimento trinexapaque-etílico em doses crescentes (0, 100, 200, 300 e 400 g i.a ha⁻¹), em dois híbridos de milho.

Tabela 4.8 – Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	4,16 bc	4,22 bc	5,87 ab	5,81 b
V6	3,88 cd	4,88 b	6,15 a	6,95 a
V9	5,03 b	3,83 c	3,71 c	3,24 c
V12	3,97 cd	4,01 bc	5,59 ab	5,34 b
V6+V9	7,34 a	5,98 a	5,31 ab	3,74 c
V6+V9+V12	3,06 d	4,15 bc	5,02 b	6,43 ab

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico (p<0,001).

Fonte: o autor.

Ao analisar a Figura 4.4, foi possível identificar que o IAF foi aumentado conforme se incrementou a densidade de plantas de milho, isso para as condições sem aplicação de reductor de crescimento (Figura 4.4a), com a aplicação do reductor em V6 (Figura 4.4b), com a aplicação do reductor em V12 (Figura 4.4d) e com a aplicação do reductor em V6+V9+V12 (Figura 4.4f).

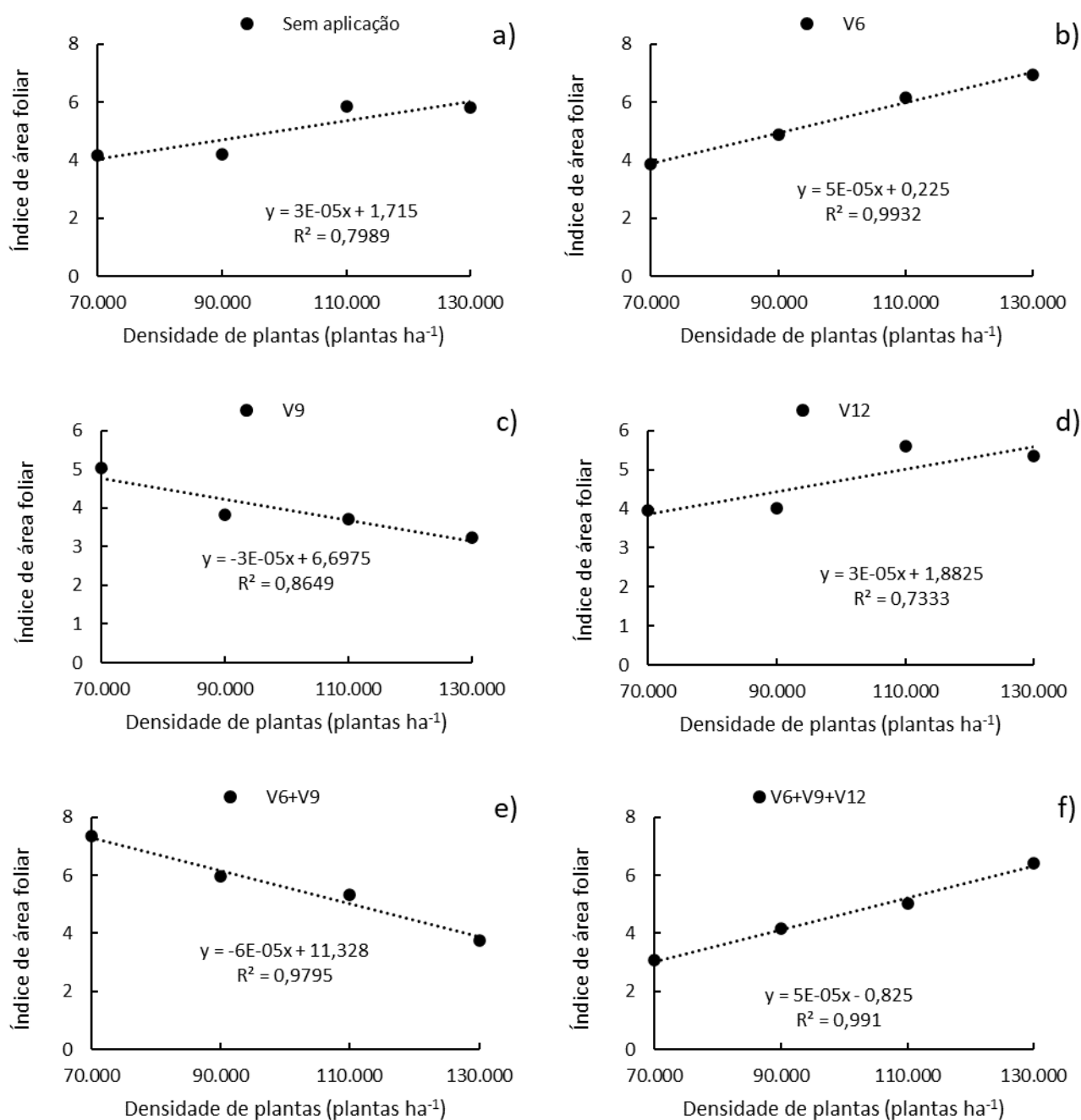
Essa resposta é explicada pela menor influência do reductor de crescimento nesses estádios, uma vez que até V6 permite a retomada de crescimento normal do dossel e incremento do IAF por consequência. Já no V12 o IAF foi menos influenciado pelo reductor já que sua definição estava praticamente completa, devido à proximidade do VT, e a dose particionada no caso de V6+V9+V12 foi menos efetiva nessa restrição de alongação celular.

O incremento do IAF em resposta ao aumento da densidade de plantas foi relatado por Sangoi et al. (2019a) e Pricinotto et al. (2019). Essa resposta é relacionada ao incremento de folhas por área, considerando que ocorre maior sobreposição da vegetação em relação ao solo conforme se acresce a densidade de plantas por área. O que foi bastante intenso nas densidades de 90, 110 e 130 mil plantas testadas no presente trabalho.

Nota-se, porém, que em V9 ou V6+V9 (Figura 4.4c e 4.4e), como o desenvolvimento das folhas estava ocorrendo de forma mais intensa, houve redução

significativa do IAF em resposta ao incremento da densidade de plantas.

Figura 4.5 – Desdobramento da interação significativa para índice de área foliar em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.



Essa modificação no padrão do IAF foi possível pelo ajuste de menor comprimento das folhas e consequentemente menor sobreposição do solo pela menor

expansão do dossel das plantas em resposta ao uso de trinexapaque-etílico durante essas fases fenológicas.

É conhecida a relação entre o IAF e a produtividade de grãos, por isso dá importância dessa característica e sua manutenção dentro do limite considerado adequado (3 a 5) para a cultura do milho, conforme também foi constatado por Rezende et al. (2015).

Para o índice de colheita (Tabela 4.9), verifica-se maiores valores com aplicação do redutor de crescimento no estágio V9 do milho e densidade de 90.000 plantas por hectare, isso indica uma influência direta da fase em que o redutor é aplicado sobre sua efetividade em reduzir o crescimento vegetativo das plantas e favorecer o investimento de fotoassimilados em estruturas reprodutivas, no caso, em grãos, por isso o IC maior que 70%, bastante superior ao que é normalmente encontrado para a cultura do milho.

Conforme trabalho de Pedrazzi et al. (2016), o índice de colheita considerado satisfatório para a cultura do milho está acima de 60%, em que se nota maior eficiência da distribuição de fotoassimilados e conversão destes em estruturas de interesse econômico, conforme verificado em aplicação do V9 do trinexapaque-etílico e densidade de 90.000 plantas no presente estudo. Esse resultado positivo não se manteve nas densidades maiores devido ao incremento significativo na competição intraespecífica que foi notável e bastante influente sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

Tabela 4.9 – Desdobramento da interação significativa para índice de colheita em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

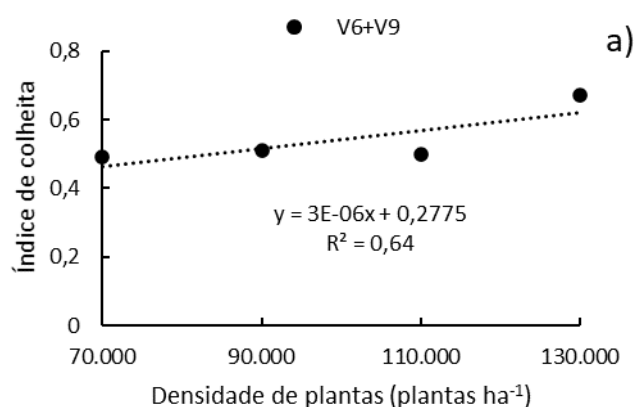
Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	0,50 a	0,59 ab	0,55 a	0,47 a
V6	0,49 a	0,50 bc	0,58 a	0,59 a
V9	0,56 a	0,71 a	0,52 a	0,53 a
V12	0,50 a	0,33 c	0,46 a	0,48 a
V6+V9	0,49 a	0,51 abc	0,50 a	0,67 a
V6+V9+V12	0,46 a	0,51 abc	0,42 a	0,50 a

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico (p<0,001).

Fonte: o autor.

Foi possível verificar também um acréscimo do IC (Figura 4.5), conforme se incrementou a densidade de plantas de milho, quando foi realizada a aplicação do redutor de crescimento de forma sequencial em V6 e V9, isso se deve a maior eficiência em interceptação da radiação solar, e melhoria da relação fonte-dreno das plantas tratadas, uma vez que, essas tiveram maior investimento na formação de estruturas reprodutivas, evitando gastos desnecessários em estruturas vegetativas.

Figura 4.6 – Desdobramento da interação significativa para índice de colheita em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.



Para o número de grãos por espiga (Tabela 4.10), nota-se destaque para os tratamentos com redutor de crescimento nas épocas V6 e V9 e V12, e esse maior desempenho na formação de grãos se deve a melhoria da arquitetura das plantas seguida de melhor distribuição dos fotoassimilados pela relação fonte-dreno, em que as estruturas reprodutivas receberam maior aporte e se desenvolveram de maneira mais satisfatória.

Esse efeito gera um aumento do número grãos por espiga, justificável pelo favorecimento da formação de maior número de óvulos ou mesmo pelo desfavorecimento do abortamento dos óvulos.

Esse desempenho favorável é sustentado pela melhoria no fornecimento de fotoassimilados para a estrutura reprodutiva (espiga) que pode maximizar o seu crescimento e de forma direta o número de grãos.

Tabela 4.10 – Número de grãos por espiga (NGE) em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etílico	Característica avaliada
	NGE**
Sem aplicação	446,52 bc
V6	475,38 a
V9	460,62 ab
V12	460,35 ab
V6+V9	392,94 c
V6+V9+V12	396,76 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico *($p < 0,05$) e **($p < 0,001$).

Legenda: EA = época de aplicação do trinexapaque-etílico, NGE = número de grãos por espiga.

Fonte: o autor.

Para a produtividade de grãos (Tabela 4.11), ao analisar o desdobramento de densidade de plantas e redutor de crescimento, nota-se, superioridade produtiva em todos os tratamentos com redutor para a densidade de 70.000 plantas por hectare, com no mínimo 38% a mais de resultado em relação ao tratamento sem aplicação.

O maior destaque, no entanto, vai para a aplicação de trinexapaque-etílico em V9, para a densidade de 90.000 plantas por hectare, em que foi ultrapassada a marca das 8 toneladas de grãos por hectare. Esses efeitos notórios do redutor de crescimento são explicados pela mudança arquitetônica e fisiológica das plantas.

A melhoria da arquitetura foliar devido ao uso do redutor de crescimento se relaciona com o menor comprimento das folhas, principalmente na parte mediana do dossel e a angulação mais ereta das folhas que receberam o tratamento com o trinexapaque-etílico.

Já no aspecto fisiológico, a melhoria da interceptação da radiação solar, associada a melhoria na proporção entre partes vegetativas e reprodutivas fez com que houvesse um redirecionamento das reservas para as espigas de forma mais intensa e por consequência o número de grãos e até mesmo o peso de grãos foi melhorado, gerando ao final uma maior produtividade de grãos e isso se relaciona em grande parte com a eficiência produtiva das plantas que pode ser verificada pelo índice de colheita que havia sido também acrescido.

Nesse sentido existem trabalhos anteriores como os de Pricinotto et al. (2019) e Barbosa (2016) que constataram benefícios do uso do redutor de crescimento trinexapaque-etílico em milho, com interação positiva com fatores como a densidade de

plantas e doses de nitrogênio. Já estudos realizados por Zagonel et al. (2014), Leolato et al. (2017) e Mendes e Fagherazzi (2018), demonstraram ausência de efeito do redutor de crescimento sobre a produtividade de grãos do milho.

Esses valores de produtividade estão abaixo do que é esperado para o cultivo do milho na primeira safra e nível tecnológico empregado no manejo, uma vez que a média de produtividade de grãos paranaense para esse cenário de primeira safra supera as sete toneladas por hectare. Destaca-se uma direta relação com a disponibilidade hídrica (Figura 4.1b) durante o período experimental, que parece ter sido restritiva e afetou negativamente as médias de produtividade de grãos do presente estudo.

Tabela 4.11 – Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etfílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.

Época de aplicação do trinexapaque-etfílico	Densidade de plantas de milho (plantas ha ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	3745,08 b	4499,52 b	4750,54 a	4323,81 b
V6	6255,05 a	6012,81 b	5231,81 a	5755,73 ab
V9	5890,87 a	8182,55 a	5872,85 a	5885,63 ab
V12	5449,22 a	5167,53 b	4998,76 a	6511,98 a
V6+V9	5198,55 a	5060,65 b	4926,97 a	5437,92 ab
V6+V9+V12	5454,93 a	5640,04 b	5510,89 a	5789,71 ab

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etfílico ($p < 0,001$).

Fonte: o autor.

Quando se analisa o desdobramento com as densidades de plantas (Figura 4.6), é possível verificar que no estágio fenológico V9 de aplicação do redutor de crescimento houve um comportamento quadrático com ponto de máxima resposta em 91.000 plantas por hectare.

Isso demonstra que o redutor de crescimento possibilita incrementos na densidade de plantas e favorece a produtividade, já que com o maior número de espigas, o principal componente de rendimento da cultura do milho é favorecido.

Porém, em situações de limitação hídrica não é recomendado o uso de redutores de crescimento em cereais, uma vez que a escassez de água já é limitante do alongamento dos entrenós e crescimento das estruturas vegetativas das plantas

(RADEMACHER, 2015).

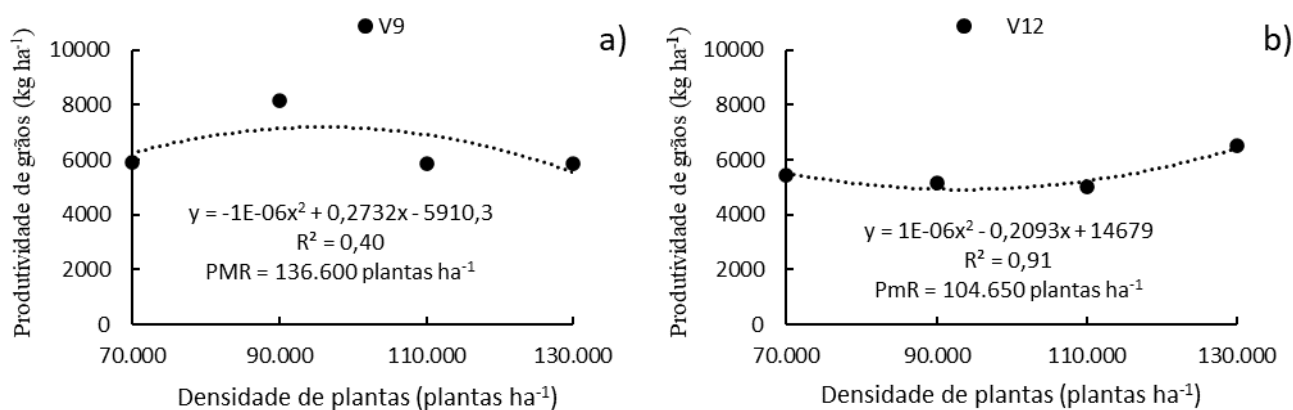
Já para a fase de aplicação V12 do redutor, houve comportamento quadrático com ponto de mínima resposta em 104.650 plantas por hectare, demonstrando que aplicações mais próximas do florescimento atuam de forma distinta sobre as plantas de milho, porém com acréscimos produtivos menos expressivos, como pode ser visto na densidade de 130.000 plantas por hectare, em que a produtividade de grãos chegou a 6.512 kg ha⁻¹ em média.

Nesse sentido, o trabalho realizado por Leolato et al. (2017) aponta resultados positivos em densidades acima de 90.000 plantas por hectare de milho em semeadura na época recomendada para a primeira safra.

Considerando que o presente trabalho também foi conduzido em época recomendada é evidente o benefício da utilização de maiores densidades de plantas para a cultura do milho e a possibilidade de agregar o redutor de crescimento é promissora para elevar o patamar produtivo do milho, principalmente em condições ambientais favoráveis e maiores investimentos em tecnologia e híbridos de maior potencial produtivo com arquitetura de planta moderna.

Ressalta-se, no entanto, que houvera condições restritivas no que se refere ao aspecto ambiental, principalmente no que tange a disponibilidade hídrica e sua distribuição durante as fases críticas de desenvolvimento das plantas de milho, e isso ocasionou respostas variáveis e menos expressivas para algumas avaliações, inclusive a produtividade de grãos.

Figura 4.7 – Desdobramento da interação significativa para produtividade de grãos em resposta a fase de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão na safra 2.



Variáveis fisiológicas e bioquímicas

Considerando a complexidade das respostas ao redutor de crescimento e seu efeito direto e indireto sobre aspectos metabólicos e de crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, foram realizadas avaliações fisiológicas e bioquímicas durante os estádios fenológicos de VT/R1 das plantas de milho, na segunda safra de condução do experimento, seguem descritos os resultados nessa última seção:

Foi constatada diferença apenas para a época de aplicação do redutor de crescimento para as variáveis teor de proteínas solúveis (PROT), e teor de pigmentos fotossintetizantes: clorofila A (CLORA), clorofila B (CLORB) e carotenoides (CAROT). Já para a condutância estomática foi observada diferença para a interação entre os dois fatores experimentais (época de aplicação do redutor de crescimento e densidade de plantas), conforme pode ser observado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Resumo da análise de variância para as características bioquímicas de folhas de milho em função da época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.

FV	GL	PROT	CLA	CLB	CAROT	CE
Bloco	3	3,88 ^{ns}	20,13 ^{ns}	2,20 ^{ns}	4,83 ^{ns}	9284 ^{ns}
EA	5	19,49**	424,34**	21,42**	140,28**	134021**
DP	3	5,79 ^{ns}	30,35 ^{ns}	7,11 ^{ns}	24,15 ^{ns}	92289*
EA x DP	15	3,00 ^{ns}	32,75 ^{ns}	5,68	10,39 ^{ns}	153150**
Erro	69	3,17	18,89	6,12	14,64	24931
CV (%)		24,68	23,61	29,07	19,10	35,28

^{ns} = não significativo (p<0,05); * = significativo (p<0,05) e ** = significativo (p<0,001).

Legenda: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; EA = época de aplicação de trinexapaque-etílico; DP = densidade de plantas de milho; CV = coeficiente de variação; PROT = teor de proteínas solúveis; CLA = teor de clorofila A; CLB = teor de clorofila B; CAROT = teor de carotenoides e CE = condutância estomática.

Fonte: o autor.

Foi possível notar alteração no teor de proteínas solúveis (Tabela 4.13), com a aplicação do redutor de crescimento em V9 se destacando com maior teor proteico nas folhas quando comparada com a condição sem aplicação, aplicação em V6 e até a sequencial em V6+V9+V12, visto que a ação do trinexapaque-etílico é direta sobre a inibição da produção de giberelinas, principalmente Ga₁, o que modifica o crescimento das estruturas das plantas de milho, principalmente as folhas e o colmo, com alteração direta na composição bioquímica, como é o caso do teor de proteínas.

Araújo (2017), não obteve alteração no teor de nitrogênio nas folhas de milho, e por consequência nas proteínas solúveis das folhas, o que difere do presente trabalho. Fioreze e Rodrigues (2012), destacaram que a aplicação de trinexapaque-etílico resultou em aumento no índice SPAD em trigo, havendo grande correlação com os teores de nitrogênio foliar.

Já Silva (2019), ao trabalhar com outro redutor de crescimento que também inibe a biossíntese de giberelinas na cultura da mandioca, foi notória a melhoria no teor de proteínas com o uso desse produto.

No que se refere ao teor de pigmentos fotossintetizantes (CLORA, CLORB e CAROT), foi notória a melhoria nas aplicações do redutor de crescimento em aplicações sequenciais de V6+V9 e V6+V9+V12 de forma geral entre os três pigmentos e especificamente para CLORA também houve um resultado positivo em condição sem aplicação e aplicação do trinexapaque-etílico em V6.

Justifica-se essa alteração dos pigmentos, principalmente as aplicações sequenciais, devido ao encurtamento das folhas e redução da sua extensão, que possivelmente favoreceu a concentração de cloroplastos e por consequência o teor no tecido foi acrescido. Somado a isso, destaca-se que as folhas opostas à espiga, que foram coletadas, são as que apresentam maior concentração destes pigmentos, na fase de florescimento do milho, conforme comentado por Argenta et al. (2001).

Arelado a esse efeito, é notável que o regulador de crescimento atua na rota de formação dos terpenos, como as giberelinas, inibindo a formação destes compostos (RADEMACHER, 2015) e por esse motivo pode interferir também na formação de componentes como os carotenoides que são formados na mesma rota e podem ser estimulados em detrimento dos fitohormônios citados (TAIZ et al., 2017).

Destaca-se ainda que a redução da angulação foliar, principalmente das folhas da parte superior do dossel também incrementa a interceptação de radiação solar em toda a extensão das folhas e favorece seu desempenho fotossintético, isso também estimula a formação de organelas e produção de pigmentos fotossintetizantes.

As principais alterações observadas para redutores de crescimento vegetal como o trinexapaque-etílico são: redução do consumo de água, retardo da senescência, aumento da resistência aos estresses ambientais e incremento da concentração de pigmentos fotossintetizantes nas folhas (DAVIES, 1987; GROSSMANN, 1990). Campos (2005), trabalhando com reguladores vegetais em soja, concluiu que estes podem ser excelentes ferramentas que contribuem com a formação de pigmentos fotossintetizantes nas folhas.

Já Fioreze e Rodrigues (2012) ao trabalhar com trinexapaque-etílico na cultura do trigo, não identificou alterações significativas nos teores de clorofila das folhas, que apresentaram inclusive redução em função da aplicação do regulador.

Tabela 4.13 – Valores médios do teor de proteínas solúveis (PROT), clorofila A (CLA), clorofila B (CLB) e carotenoides (CAROT) de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.

FA	Característica avaliada			
	PROT (mg g ⁻¹)	CLA (mg g ⁻¹)	CLB (mg g ⁻¹)	CAROT (mg g ⁻¹)
Sem aplicação	6,11 b	19,69 a	6,14 ab	11,69 b
V6	6,30 b	20,30 a	6,34 ab	12,05 b
V9	9,03 a	13,51 b	5,46 b	11,45 b
V12	7,89 ab	10,73 b	4,87 b	9,98 b
V6+V9	7,25 ab	23,56 a	8,12 a	16,60 a
V6+V9+V12	6,68 b	22,64 a	7,07 ab	17,11 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico *(p<0,05) e **(p<0,001).

Legenda: FA = fase de aplicação do trinexapaque-etílico, V6 = seis folhas totalmente expandidas, V9 = nove

Fonte: o autor.

No desdobramento da interação entre épocas de aplicação do redutor de crescimento e densidades de plantas de milho para a condutância estomática (Tabela 4.14 e Figura 4.7), foi possível identificar que na menor densidade (70.000 plantas ha⁻¹), houve maior condutância estomática das plantas de milho para aplicação do redutor em V6 ou ausência de aplicação deste.

Maiores valores de COND foram destaques na aplicação de trinexapaque-etílico em V9 para a densidade de plantas de 110.000 plantas ha⁻¹, e para ausência de aplicação ou aplicações do redutor em V6 e V9 para a densidade de 110.000 plantas ha⁻¹.

Essas respostas se devem em grande parte ao momento em que foi realizada a avaliação da condutância estomática, pois no florescimento as plantas que receberam o trinexapaque-etílico em V6 e até V9 já haviam se reajustado fisiologicamente e não tinham mais o efeito pronunciado sobre suas trocas gasosas que é proporcionado pelo redutor de crescimento.

Destaca-se que aplicações após V12 e mesmo as sequenciais, demonstraram menor valor de forma geral para a COND, isso se deve ao efeito de restrição da cadeia respiratória das células vegetais ocasionado pelo trinexapaque-etílico, conforme relatado por

Heckman et al. (2002). Ressalta-se que esse efeito pode ser benéfico para a relação fonte-dreno devido a economia de fotoassimilados e aumento da fotossíntese líquida.

Tabela 4.14 – Desdobramento da interação significativa para condutância estomática de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.

Fase de aplicação do trinexapaque-etílico	Densidade de plantas de milho (plantas há ⁻¹)			
	70.000	90.000	110.000	130.000
Sem aplicação	670,77 a	285,81 a	289,00 b	656,99 a
V6	691,51 a	294,65 a	297,94 b	677,31 a
V9	224,38 b	602,29 a	839,37 a	631,85 a
V12	467,39 ab	470,58 a	281,54 b	630,27 ab
V6+V9	292,92 b	517,76 a	367,13 b	228,90 c
V6+V9+V12	386,24 ab	454,77 a	162,90 b	317,45 bc

Legenda: médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si para o fator fase de aplicação de trinexapaque-etílico ($p < 0,001$).

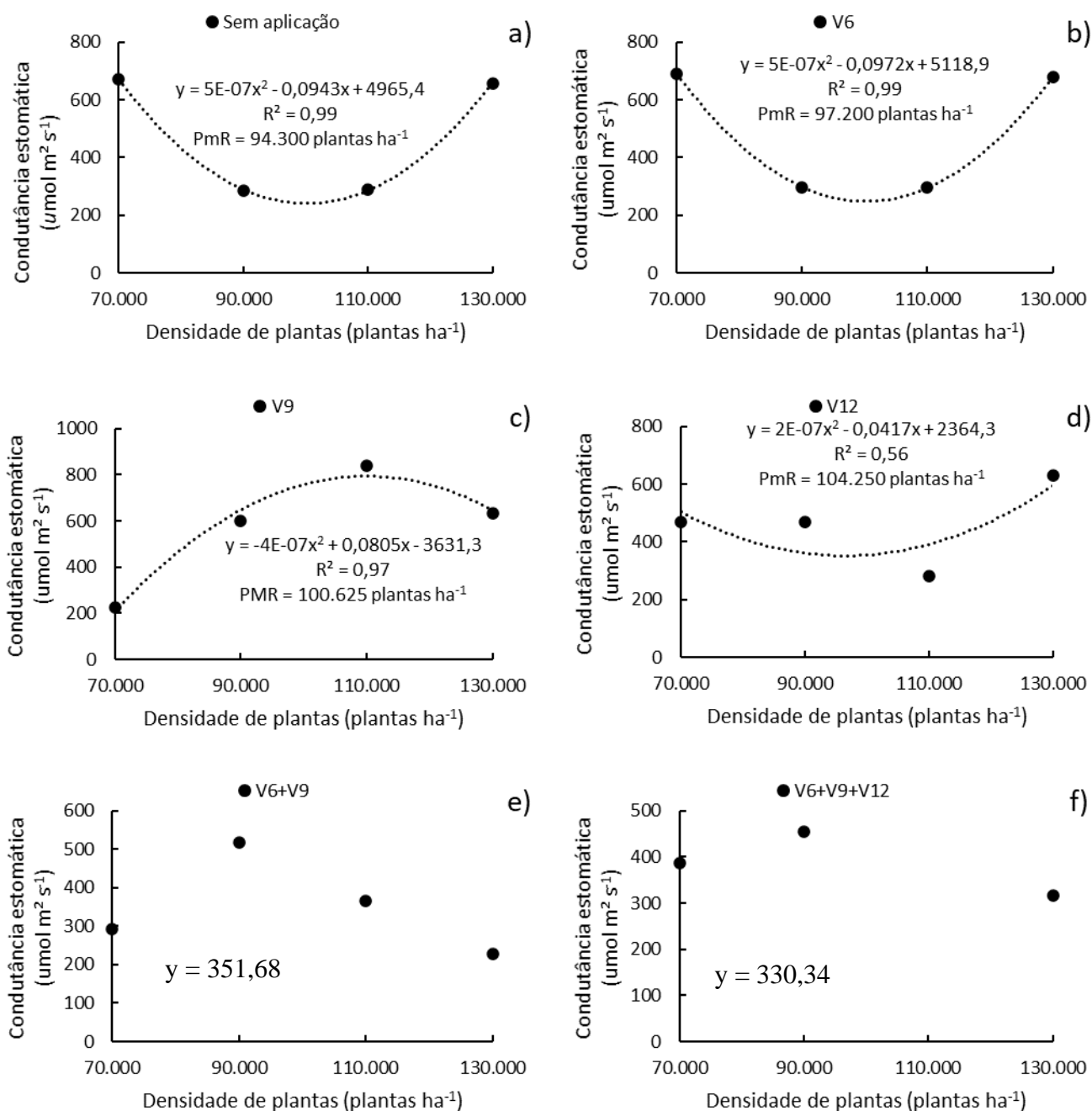
Fonte: o autor.

Quanto ao efeito iterativo da densidade de plantas é possível analisar a Figura 4.7, em que houve comportamento polinomial de resposta da COND em virtude do aumento na densidade de plantas, sendo esse com ponto de mínima resposta para as condições sem aplicação ($94.300 \text{ plantas ha}^{-1}$) e as aplicações do redutor em V6 ($97.200 \text{ plantas ha}^{-1}$) e V12 ($104.250 \text{ plantas ha}^{-1}$) e com ponto de máxima na aplicação em V9 ($100.625 \text{ plantas ha}^{-1}$).

Com essas respostas é possível identificar que o incremento na densidade de plantas até cerca de $100.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, gera uma redução da capacidade de trocas gasosas das folhas opostas à espiga na planta de milho, isso possivelmente se relaciona com o maior sombreamento entre as folhas e por consequência o menor fluxo de radiação no interior do dossel das plantas de milho, com consequente alteração da COND e do crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017).

Santos et al. (2018) destacaram que houve efeito de redução da taxa de condutância estomática em resposta ao acréscimo da densidade de plantas de milho em diferentes épocas de semeadura na segunda safra em Cassilândia-MS.

Figura 4.8 – Desdobramento da interação significativa para condutância estomática de folhas de milho em resposta a época de aplicação de trinexapaque-etílico e densidades de plantas de milho verão safra 2.



Densidades de plantas mais elevadas, acima de 100.000 plantas ha⁻¹, geraram novo incremento da condutância estomática, que está relacionado ao aumento muito intenso da competição intraespecífica das plantas, estiolamento e restrição dos fatores de produção devido ao grande fechamento do dossel com maior IAF que estimulou a taxa de trocas gasosas e por consequência afetou também o crescimento das plantas e seu

desempenho produtivo.

Portanto, considerando as avaliações realizadas de desempenho fitométrico, produtivo e bioquímico das plantas de milho em resposta à diferentes épocas de aplicação do trinexapaque-etílico e do incremento da densidade de plantas de milho por área, são observadas alterações notáveis no presente estudo.

Quanto ao desempenho vegetativo das plantas de milho, seja em resposta ao uso do redutor de crescimento ou à variação de densidade de plantas na lavoura, são percebidos indicativos de alterações na relação fonte-dreno das plantas e sua arquitetura de dossel.

Existem também efeitos claros sobre os componentes de produção e sobre o rendimento de grãos do milho, para algumas fases de aplicação do redutor de crescimento (V12, V6+V9 e V6+V9+V12) e densidade de plantas de aproximadamente 90.000 plantas ha⁻¹, que proporcionaram maior desempenho produtivo nessa condição de cultivo de verão.

Em relação aos parâmetros bioquímicos e fisiológicos, notou-se que a composição das plantas teve alteração, no que se refere aos teores de proteínas e pigmentos fotossintetizantes e ainda houve mudança metabólica com efeito sobre a troca de gases e por consequência sobre a respiração das células e em última análise sobre a fotossíntese líquida das plantas de milho.

4.6 Conclusões

O desempenho agrônômico do milho é alterado pela utilização do redutor de crescimento nas diferentes fases de desenvolvimento do milho e pela alteração na densidade de plantas, para a segunda safra analisada.

Há menor crescimento vegetativo das plantas de milho devido ao uso do trinexapaque-etílico em diferentes estádios fenológicos das plantas e isso reflete positivamente sobre o desempenho dos componentes de rendimento e produtividade de grãos para fases como V9 e V12.

O emprego do redutor de crescimento entre V9 e V12, permite o uso de densidades de plantas maiores, de 90.000 a 130.000 plantas por hectare sem o efeito negativo do crescimento vegetativo excessivo das plantas de milho.

Os teores de pigmentos fotossintetizantes e proteínas solúveis são alterados pelo uso do redutor de crescimento nas diferentes épocas de aplicação e usos sequenciais e são menos afetados pela densidade de plantas. Há redução da condutância estomática em resposta ao uso de trinexapaque-etílico e incremento da densidade de plantas.

4.7 Referências

- ARAÚJO, L. S. **Aplicação de *Azospirillum brasilense* associado a reguladores de crescimento e micronutrientes na cultura do milho**, 2017. Universidade Federal de Uberlândia.
- ARGENTA, G., SILVA, R. P. F., BORTOLINI, G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.
- BARBOSA, A. P. **Regulador de crescimento no sistema produtivo do milho**. 122 p. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina-PR, 2016.
- BARBOSA, A. P.; ALVES, L. A. R.; BERTONCELLI, D. J.; et al. Desempenho fitométrico do milho sob efeito de doses de trinexapac-ethyl e clomazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 279–285, 2017.
- BAZZO, J. H. B.; BARBOSA, A. P.; CARDOSO, C. P.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B. Physiological quality of seeds of white oat cultivars in response to trinexapac-ethyl application. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 636–643, 2018.
- BEN, L. H. B.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; SILVA, G. U. DA. Influence of irrigation levels and plant density on "second-season" maize. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 665–676, 2016.
- BRADFORD, M.M; A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Orlando, v.72, p.248-254, 1976.
- BRASIL. **Regras para análises de sementes**. Brasília – DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.
- CAMPOS, M. F. **Efeitos de reguladores vegetais no desenvolvimento de planta de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**.2005. 131 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2006. Circular técnica, n.78.
- CONAB. COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2019/2020: primeiro levantamento, março de 2010**. Brasília, 2020. 94p.
- CONTINI, E., MOTA, M. M., MARRA, R., BORGHI, E., MIRANDA, R. A., SILVA, A. F., SILVA, D. D., MACHADO, J. R. A., COTA, L. V., COSTA, R. V., MENDES, S. M. **SÉRIE DESAFIOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos**. [Brasília-DF], 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- COSTA, N.V.; MARTINS, D.; RODELLA, R.A.; RODRIGUES, A.C.P.; CARDOSO, L. A. Trinexapac-Ethyl Effect on the Leaf Anatomy of Four Turfgrass Species. **Planta Daninha**, v.

28, n. 3, p. 551–560, 2010.

DAVIES, P. J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: Davies, P. J. (Ed.). *Plant hormones and their role in plant growth and development*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p.1-11.

DAVIES, P.J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: -----. **Plant hormones and their role in plant growth and development**. Netherlands: Kluwer Academic, 1987, p. 1-23.

DOW SEMENTES. **Guia de sementes 2016**. Dow AgroSciences, 104 p., 2016.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção: Cultura do milho**. 8 eds. Versão eletrônica, out. 2012. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/autores.htm>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.

EMYGDIO, B. M.; TEIXEIRA, M. C. C. **Densidade de plantas e espaçamento entre linhas para o híbrido de milho BRS 1015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 8p. (Circular Técnica, 72).

FAGHERAZZI, M. M. **Mariana Mendes Fagherazzi Respostas Morfo-Agronômicas Do Milho À Aplicação De Trinexapac-Ethyl Em Diferentes Lages , Sc**, 2015. Universidade do Estado de Santa Catarina.

FAGHERAZZI, M. M. Mariana Mendes Fagherazzi. Respostas Morfo-Agronômicas Do Milho À aplicação de trinexapac-ethyl em diferentes Lages, Sc, 2015. Universidade do Estado de Santa Catarina.

FIGLIORINI, S. L.; RODRIGUES, J. D. Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiológicos da folha bandeira do trigo. **Agrária**, v. 7, n. 1, p. 89–96, 2012.

FRANCIS, C.A. RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E.A. Rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 537-539, 1969.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E. e FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 819-828, 2014.

Grossmann, K. Plant growth retardants as tools in physiological research. **Physiologia Plantarum**, v.78, n.3, p.640-648, 1990.

HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN, R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**, Guanabara Koogan. Rio de Janeiro: 2004, 453p.

KUNESKI, H. F.; LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; COELHO, A. E.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; OLIVEIRA, V. L. Regulador de crescimento e características morfológicas do milho em diferentes densidades de plantas e épocas de semeadura. **Revista da Jornada da**

Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega, p. 1982–2960, 2017.

LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 997–1005, 2017.

MARTINS, J. T. **Doses e épocas de aplicação de etil-trinexapac em arroz de terras altas irrigado por aspersão**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2018.

MENDES FAGHERAZZI, M.; SOUZA, C. A.; STEFEN, D. L. V.; et al. Sensibilidade fenológica de dois cultivares de milho a trinexapac-ethyl. **Planta Daninha**, v. 36, n. April, 2018.

PEDRAZZI, A. Q.; BINOTTI, F. F. S.; COSTA, E. E CARDOSO, E. D. Phytomass in silage production as a function of nitrogen management in maize. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 410–417, 2016.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T. Yield and biometric characteristics of maize submitted to plant population and trinexapac-ethyl doses. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 667–678, 2019.

RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015. Springer US.

RADEMASCHER, W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulators**, v. 34, p. 845-872, 2015.

REZENDE, W. S.; BRITO, C. H. DE; BRANDÃO, A. M.; et al. Desenvolvimento e produtividade de grãos de milho submetido a níveis de desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 203–209, 2015.

RITCHIE, S. W. HANWAY, J. J.; BENSON, G. O.; HERMAN, J. C. **How a corn plant develops**: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service 1993.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1992. 681p.

SANGOI, L., SCHMITT, A., DURLI, M. M., LEOLATO, L. S., COELHO, A. E., KUNESKI, H. F., OLIVEIRA, V. L. Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 47–60, 2019a.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, HUGO FRANÇOIS; et al. Estratégias De Manejo Do Arranjo De Plantas Visando Otimizar a Produtividade De Grãos Do Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 47–60, 2019b.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T. e SOUZA, C. A. Perfilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Editora Graphel, 2010. 87p.

SANTOS, A. L. F. DOS; MECI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 52–60, 2018.

SILVA, R. M.; **Componentes, componentes da produção e produtividade da mandioca de mesa em função do arranjo de plantio e modos de aplicação de regulador de crescimento**. Dissertação (mestrado), 2019. Universidade Estadual Paulista (Unesp).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TREWARTH, G. T.; HORN, L. H. **Introduction to climate**, 5th edn. McGraw Hill, New York, NY, 1980.

WHITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiment in plant physiology**. New York: D. Van Nostrand Company, 1971. p. 55-58.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Rates and times of growth regulator application on corn hybrids. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 395-402, 2013.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C.; SENGER, M. Application times of growth regulator and of artificial shading in wheat cultivars. **Revista EIXO**, v. 3, n. 1, p. 47–59, 2014.

ZHANG, Q.; ZHANG, L.; EVERS, J.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, W.; DUAN, L. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator, **Field Crops Research**. v. 164, p.82-89, 2014.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O adensamento das lavouras de milho é uma realidade e a demanda crescente de tecnologias têm acompanhado a evolução dessa cultura no Brasil. As adubações nitrogenadas mais intensas também tem sido utilizadas com o intuito de maior rendimento de grãos.

Porém, a planta de milho, além de muito eficiente em produção de biomassa, possui arquitetura do dossel pouco eficiente no que se refere ao autossombreamento, elevado índice de área foliar e limitado perfilhamento. Essa combinação do padrão de crescimento das plantas com fatores que o estimulam podem ocasionar prejuízos à lavoura.

Neste trabalho foram observados alguns desses efeitos, como o excesso de área foliar das plantas, em alguns casos o desfavorecimento de características fitométicas como o diâmetro do colmo, que foram agravados pela condição ambiental com restrição hídrica em vários momentos em que os experimentos estavam a campo.

O efeito do inibidor da biossíntese das giberelinas (trinexapac-ethyl) foi notado e proporcionou de forma geral uma redução na elongação dos entrenós das plantas de milho e isso alterou o porte e a arquitetura das plantas, com a obtenção de plantas mais compactas. Esse efeito não foi mais pronunciado devido ao ambiente que por vezes naturalmente restringiu o crescimento da lavoura de milho.

Como efeito complementar foi possível identificar alterações bioquímicas das folhas das plantas de milho, como a alteração da condutância estomática das folhas, que possivelmente modificou a respiração e modificou a relação fonte-dreno, o que possivelmente gerou maior fotossíntese líquida nas plantas, sendo esse efeito diretamente relacionado com o aproveitamento dos fatores produtivos, como a adubação nitrogenada e água no solo, que possibilitam somados melhorar a produtividade de grãos do milho.

Adubação nitrogenada foi notadamente um fator que influenciou o crescimento das plantas e proporcionou alterações nos componentes de rendimento da cultura. Foi possível identificar que doses mais altas de N podem ser utilizadas sem efeitos negativos de crescimento excessivo das plantas quando estas foram combinadas com o trinexapaque-etílico que atua de forma contrária, controlando o crescimento vegetativo das plantas.

Visto que, o objetivo do trabalho foi avaliar o contraste entre o efeito de redução de crescimento do trinexapaque-etílico e os fatores que estimulam crescimento (elevadas densidades de plantas ou doses de nitrogênio), sobre o desempenho do milho, foi possível identificar ainda que existe uma demanda ainda extensa de pesquisa para essa linha de

pesquisa e existem variações que devem ser testadas como híbridos de milho com diferenças quanto a sua arquitetura foliar, diferentes potenciais de responsividade à adubação, principalmente a nitrogenada, épocas de semeadura, destacando-se trabalhos na segunda safra que hoje é a mais relevante para a cultura do milho e ainda outras variações de inibidores de crescimento, além de outras opções do arranjo de plantas, como o uso de fileiras duplas.

Enfim, existe ainda um caminho a ser percorrido para crescimento do conhecimento nessa área e a importância cada vez maior desse cereal é um grande incentivo para que esses trabalhos sejam realizados e continuem a esclarecer o quanto a tecnologia pode auxiliar nos ganhos produtivos e na eficiência da agricultura.