UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Dissertação

Crescimento, composição química e desempenho fisiológico de sementes de trigo submetido a regulador de crescimento

Felipe Koch

Pelotas, 2015

Felipe Koch
Engenheiro Agrônomo

Crescimento, composição química e desempenho fisiológico de sementes de trigo submetido a regulador de crescimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador:
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (FAEM/UFPEL)

Coorientador:
Prof. Dr. Francisco Amaral Villela (FAEM/UFPEL)

Pelotas, 2015
Rio Grande do Sul – Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K76c Koch, Felipe.
Crescimento, composição química e desempenho fisiológico de sementes de trigo submetido a regulador de crescimento. / Felipe Koch; orientador Tiago Zanatta Aumonde. – Pelotas, 2015.

57f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas.

1. Trigo – cultivo – regulador de crescimento. 2. Agricultura. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Título.

CDD: 633.11

Catalogação na fonte elaborada pela Bibliotecária Luciana Franke Nebel – CRB-10/654.

Felipe Koch
Engenheiro Agrônomo

Crescimento, composição química e desempenho fisiológico de sementes de trigo submetido a regulador de crescimento

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28/09/2015.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (Orientador)
Doutor em Ciência pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Paulo Dejalma Zimmer
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. PhD Nei Fernandes Lopes
Doutor em Fisiologia Vegetal pela University of California

.....
Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

“Não importa o que você seja, quem você seja, ou o que deseja na vida. A ousadia em ser diferente reflete na sua personalidade, no seu caráter, naquilo que você é. É assim que as pessoas lembrarão de você um dia”.

Ayrton Senna

Aos meus pais Alceu e Ivania e a meu irmão Manuel, pelo exemplo de dedicação, pelo apoio em todos os momentos e por acreditar sempre em minhas vitórias e ideais.

DEDICO...

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a **Deus**, por iluminar meu caminho, me dando força, saúde e vontade para seguir em frente.

Aos meus pais, Alceu e Ivania e irmão Manuel que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando desde o inicio

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde pela sua confiança, paciência, dedicação, pelos conselhos e pela amizade.

Ao meu Coorientador, Prof. Dr. Francisco Amaral Villela, pela dedicação, conselhos e amizade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A empresa OR Melhoramento de Sementes, por disponibilizar as sementes utilizadas no experimento.

Aos mestrandos Lucian e Gustavo, doutorandos Geison, Carolina, Dominique e Angelita e ao pós-doutorando Tiago Pedó, pelo companheirismo, amizade e auxílio durante a condução dos experimentos.

A todos os estagiários da linha de pesquisa, pelo comprometimento e apoio durante as atividades desenvolvidas nesta pesquisa.

Por fim, a todos amigos, mesmo aqueles de longe, que de uma forma ou outra, sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando nos bons e maus momentos.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

Resumo

KOCH, Felipe. **Crescimento, composição química e desempenho fisiológico de sementes de trigo submetido a regulador de crescimento.** 2015. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento de plantas de trigo submetidas a aplicação de regulador de crescimento vegetal e adubação para altos rendimentos, assim como, a composição química e a qualidade fisiológica de sementes produzidas. A cultivar utilizada foi a OR Topázio e o regulador de crescimento foi o trinexapac-ethyl, aplicado via foliar. No capítulo I, o experimento foi conduzido em casa de vegetação e o delineamento experimental foi o inteiramente casualisado, em esquema fatorial 5x8 (cinco doses e oito épocas de coleta) com quatro repetições. Foram avaliados a matéria seca total, a taxa de produção de matéria seca, as taxas de crescimento relativo e assimilatória liquida, a razão de área e massa foliar, o índice de área foliar. Foi determinada a eficiência de conversão da energia solar, a partição de assimilados, o índice de colheita, a altura das plantas, a emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas. No capítulo II, o experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualisado com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo avaliados a germinação e primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, matéria seca de plântulas, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. No capítulo I, a alocação de matéria seca total, a taxa de crescimento relativo, a altura de plantas e o índice de colheita foram reduzidos, com intensidade variável, conforme a dose do regulador de crescimento. A taxa assimilatória líquida foi reduzida em plantas submetidas a doses de 400, 600 e 800 mL ha^{-1}, a razão de massa e de área foliar foram superiores quando utilizadas as doses de 400 e 800 mL ha^{-1}. A emergência e índice de velocidade de emergência não foram afetados pela ação do regulador de crescimento. No capítulo II, a primeira contagem de germinação aumentou até a maior dose. A condutividade elétrica após três horas de embebição foi reduzida, a partir da dose de 600 mL ha^{-1}. Os teores de amido aumentaram até a dose de 448 mL ha^{-1}; o de aminoácidos até a dose 243 mL ha^{-1} e os teores de proteína até a dose de 417 mL ha^{-1}. Houve redução no teor de açúcares solúveis totais ao aumentar a dose do regulador. Portanto, plantas submetidas à aplicação do trinexapac-ethyl apresentam respostas diferenciais no crescimento e partição de assimilados, menor índice de colheita e altura de plantas. Já, as sementes possuem maior vigor e teores de amido, proteína e aminoácidos, contudo, menor teor de açúcares solúveis totais.

Palavras-chaves: *Triticum aestivum* L.; trinexapac-ethyl; análise de crescimento; amido; açúcares solúveis; proteínas; aminoácidos; vigor.

Abstract

KOCH, Felipe. **Growth, chemical composition and physiological performance of wheat seeds subjected to growth regulator.** 2015. 57f. Dissertation (Master Degree of Science) – Program in Science and Technology of Seeds, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2015.

This work aimed to evaluate the growth of wheat plants subjected to the application of growth regulator and fertilization for high yields, as well as, chemical composition and physiological quality of seeds produced. The variety used was OR Topázio and the growth regulator was trinexapac-ethyl, via leaf application. On chapter I, the experiment was performed on greenhouse and the experimental design was completely randomized, factorial 5x8 (five doses and eight harvest dates) with four repetitions. Total dry matter, dry matter production rate, relative growth and net assimilation rates, leaf mass ratio, leaf area ratio and leaf area index were evaluated. The conversion efficiency of solar energy, assimilate partitioning, harvest index, plant height, seedling emergence and speed of emergence index were determined. On chapter II, the experiment was performed under completely randomized experimental design using five treatments and four repetitions, being evaluated germination and first count of germination, speed of germination index, seedling dry matter, electrical conductivity and accelerated aging. On chapter I, total dry matter allocation, relative growth rate, plant height and harvest index were reduced, with variable intensity, according to the growth regulator dose. The net assimilation rate was reduced in plants subjected to 400, 600 e 800 mL ha^{-1}; leaf mass ratio and leaf area ratio were superior when doses of 400 and 800 mL ha^{-1} were used. The seedling emergence and the speed of emergence index were not affected by the action of the growth regulator. On chapter II, germination and first count of germination increased until the higher dose. Electrical conductivity after three hours of imbibition was reduced starting from the dose of 600 mL ha^{-1}. The starch content increased until the dose of 448 mL ha^{-1}; the amino acids up to the dose of 243 mL ha^{-1} and the protein content to the dose of 417 mL ha^{-1}. There was a decrease on total soluble sugars content with the increase of growth regulator dose. Therefore, plants subject to the application of trinexapac-ethyl feature differential responses on growth and assimilate partitioning, lower harvest index and plant height. Seeds produced by these plants possess higher germination, vigor expression and starch, protein and amino acids contents, however, lower content of total soluble sugars.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; trinexapac-ethyl; plant growth analysis; starch; soluble sugars; proteins; amino acids; vigor.

Sumário

1. Introdução Geral 10

2. Capítulo I – Regulador de crescimento trinexapac-ethyl e adubação de plantas de trigo para altos rendimentos: crescimento e expressão do vigor de sementes 18

2.1.1 Introdução 18

2.2 Material e Métodos 20

2.3 Resultados e discussão 23

2.4 Conclusões 32

3. Capítulo II – Desempenho fisiológico e composição química de sementes de trigo sob adubação de plantas para altos rendimentos e aplicação de regulador de crescimento vegetal 33

3.1 Introdução 33

3.2 Material e métodos 35

3.3 Resultados e discussão 39

3.4 Conclusões 44

4. Considerações finais 45

5. Referências bibliográficas 46

1. Introdução Geral

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das primeiras espécies a ser cultivada no mundo, sendo originado do cruzamento entre outras poaceas silvestres que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates (SILVA et al., 2000). Seu cultivo ocorre no sudoeste da Ásia, seu centro de origem, há mais de 10.000 anos (SLEPER & POEHLMAN, 2006), sendo elencada entre àquelas de maior importância para a alimentação humana.

A composição das proteínas de reserva permite a obtenção de vários produtos, por meio do processo de panificação, fazendo deste, um cereal mundialmente consumido. Atrelado a isso, é cultivado em diversas condições ambientais, desde a Argentina até a Finlândia, fato que resulta na necessidade da condução de intensos trabalhos de seleção, visando aclimatar a cultura aos seus diversos ambientes de cultivo (KLAR & DENADAI, 1996).

No Brasil, a produção está concentrada na Região Sul, sendo esta responsável por cerca de 95% da produção nacional do grão, que é de aproximadamente 5.9 milhões de toneladas (CONAB, 2015). Esta produção permite atender quase 50 % do consumo deste cereal no País, fazendo do Brasil um grande importador de trigo em âmbito mundial. Na região Sul do País, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, a espécie constitui uma das principais alternativas de renda para o cultivo de inverno, sendo também, fundamental ao sistema de plantio direto, servindo como cobertura vegetal e também para produção de palha para o cultivo de verão (WIETHOLTER, 2004).

Desde os primeiros trabalhos de melhoramento genético desta cultura, tem-se objetivado o aumento da produção e da qualidade de grãos, modificações na arquitetura da planta, resistência ao acamamento e pragas e a doenças (SLEPER & POEHLMAN, 2006). Atualmente, a busca por genótipos para o cultivo nestas áreas é focada no desenvolvimento de materiais com melhor potencial produtivo, aliado a isso, que apresentem resistência a fatores bióticos e abióticos, sendo esta, associada a grãos de alta qualidade para a indústria.

Com o interesse de maximizar o rendimento do trigo, tem sido estimulado o emprego do manejo intensivo da cultura, contudo, devendo o mesmo ser planejado e executado de forma precisa e racional. No manejo da cultura é necessário empregar diversas práticas culturais, entre as quais, deve-se considerar a época de semeadura, aos adequados espaçamento e densidade de semeadura, o controle de pragas, o aumento da fertilidade do solo e o controle do acamamento de plantas (RODRIGUES & TEIXEIRA, 2003).

Os altos rendimentos são obtidos ao empregar um conjunto de tecnologias mais apropriadas aos cultivos. A correção da fertilidade ou adubação consiste de procedimento essencial para alcançar máximos rendimentos (LANTMANN et al., 2005). Desse modo, a taxa de absorção de nutrientes é governada pela concentração externa e pela demanda vegetal em função do desenvolvimento e da atividade dos diversos órgãos da planta. A taxa de absorção de água e de minerais é também influenciada por diversos fatores, a exemplo da cultivar e condições climáticas e de solo, quando enquadra-se a disponibilidade e o suprimento de nutrientes (BEUKEMA & ZAAG, 1990; JADOSKI, et al., 2010).

A quantidade de nutrientes na solução do solo deve ser suficiente para não limitar a taxa de absorção e o crescimento das plantas. Por outro lado, o excesso de elementos minerais na solução do solo, pode induzir a redução do crescimento vegetal, devido a toxidez ou à interferência de certos elementos na absorção de outros nutrientes (FONTES, 1987). Nutricionalmente, a cultura do trigo demanda maior quantidade dos macronutrientes nitrogênio e potássio (PAULETTI, 1998). O nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pela planta, participando da formação de aminoácidos, proteínas e da composição da molécula da clorofila. Sua deficiência resulta em clorose nas folhas e na redução do crescimento vegetativo (RAIJ, 1991), sendo considerado um dos principais fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2013), refletindo na produtividade e qualidade de sementes de diferentes espécies vegetais.

O manejo do nitrogênio é prática agrícola bastante estudada no sentido de melhorar a eficiência do uso, pré-requisito para a diminuição dos custos de produção e para o aumento do rendimento de diferentes culturas (KOLCHINSKI & SCHUCH, 2002). Este nutriente, quando aplicado em doses elevadas resulta no acamamento de plantas e na redução do rendimento, por afetar a partição adequada de

assimilados e favorecer o exacerbado crescimento vegetativo (ZAGONEL et al., 2002).

O acamamento de plantas refere-se à curvatura do colmo em direção ao solo, que pode ser causada pelo acúmulo de massa de água nas espigas ou ainda pela ação eólica, baixa resistência do colmo ou elevada fertilidade do solo (ESPINDULA et al., 2010a). Em trigo, o acamamento pode ocorrer por dois mecanismos principais, sendo o deslocamento da raiz dentro do solo ou pelo tombamento do colmo, dependendo das circunstâncias particulares de cada cultivo (BERRY, 2003). Nas plantas acamadas, as espigas ficam mais próximas do solo, expostas a um ambiente mais úmido e quando ocorre na fase de enchimento das sementes, a produtividade é comprometida pela limitação da fotossíntese, partição ou translocação dos fotoassimilados (ZAGONEL et al., 2002). Entretanto, a sua ocorrência na fase de maturação das sementes, ocasiona a redução do peso hectolítrico, da germinação e resulta no apodrecimento das sementes, dificultando a colheita (ZAGONEL & FERNANDES, 2007).

O potássio é o segundo elemento mais exigido pela cultura do trigo, participa da ativação de enzimas e da manutenção da turgidez celular, a sua deficiência não releva sintomas imediatos (RAIJ, 1991). De acordo com Carvalho et al. (2001), os solos brasileiros, de modo geral, são deficientes em minerais potássicos facilmente intemperáveis, motivo que ocasiona o negativo balanço solo-planta, devido às perdas por lixiviação e exportação apresentarem-se superiores a adição do referido elemento no sistema.

Em relação aos macronutrientes, o fósforo é o elemento menos exportado pelas plantas de trigo. Devido a sua elevada deficiência e baixa disponibilidade nos solos, é o mais utilizado em aplicação corretiva e de manutenção, sendo este, nutriente essencial à diversos processos metabólicos e de transferência de energia (RAIJ, 1991). Este elemento mineral atua diretamente no desenvolvimento das raízes, na germinação, na maturação, no florescimento, na formação das sementes e na resistência apresentada ao frio pelos cereais de inverno (MALAVOLTA, 1989).

Os micronutrientes são elementos químicos essenciais para o crescimento das plantas, sendo exigidos em quantidades baixas (MORTVEDT, 2001). Mesmo sendo baixa a necessidade demonstrada pelo vegetal, a falta de qualquer um deles pode resultar em redução na produção (BARBOSA FILHO et al., 2002). Para a obtenção de altos potenciais produtivos se faz necessário o suprimento adequado

de todos os nutrientes exigidos pela cultura, pois, a deficiência de qualquer um deles constitui fator limitante para o crescimento e a produtividade vegetal.

As plantas produzem moléculas sinalizadoras, que mesmo em concentrações bastante pequenas, são responsáveis por efeitos marcantes tanto no seu crescimento quanto no desenvolvimento. O desenvolvimento vegetal é regulado por cinco tipos de hormônios (auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico), sendo que atualmente, também existem evidências da existência de hormônios vegetais esteróides que possuem ampla gama de efeitos morfológicos no desenvolvimento vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Os reguladores de crescimento são compostos químicos aplicados exógenamente a planta e que possuem efeitos similares aos fitormônios (CHORBADJIAN et al., 2011; SOUZA et al., 2013). Estas substâncias atuam como sinalizadores químicos na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas e normalmente se ligam a receptores que desencadeiam uma série de mudanças celulares, as quais podem afetar a iniciação ou a modificação do desenvolvimento de órgãos ou tecidos (RADEMACHER, 2000). Atualmente, os reguladores de crescimento do grupo das auxinas e das giberelinas são os mais estudados em culturas de interesse econômico. Entre as principais utilizações da auxina está a prevenção da abscisão de frutos e folhas, enraizamento de estacas, promoção da floração, indução de partenocarpia, raleio de frutos e ação herbicida (TAIZ & ZEIGER, 2013). Enquanto, a aplicação de giberelina é amplamente empregada quando se objetiva estimular o crescimento de frutos, a produção de malte em cevada ou para estimular o aumento do comprimento dos internós em cana-de-açúcar (ARTECA, 1995).

Inibidores da biossíntese de giberelina têm sido utilizados visando a redução da altura de plantas, principalmente de cereais de estação fria (ZAGONEL & FERNANDES, 2007; ESPINDULA et al., 2010a). Algumas destas substâncias sintéticas, como o trinexapac-ethyl, cloreto de chlormequat, ethephon e paclobutrazol, regulam o alongamento do colmo em cereais, inibindo a biossíntese das giberelinas (RAJALA, 2003) e promovendo redução da distância fonte-dreno e folha bandeira (FIOREZE & RODRIGUEZ, 2014). Pode também, reduzir a altura da planta e ocasionar alterações na arquitetura foliar, permitindo a maior área de captação de radiação solar e possivelmente, o aumento da produtividade (ZAGONEL & FERNANDES, 2007).

A utilização de reguladores de crescimento vegetal, de acordo com Reddy (1990), é indispensável em condições de alta umidade e adequada disponibilidade de nutrientes. Inibidores de giberelinas são usados comercialmente para evitar o alongamento de colmos em algumas culturas, diminuindo o risco de ocorrência de acamamento das plantas (ZAGONEL, 2002; ZAGONEL & FERNANDES, 2007).

No Brasil, a aplicação destas substâncias é comum na cultura da cana-de açúcar (VIANA et al., 2008), objetivando a antecipação da maturação natural (RESENDE et al., 2001) e para evitar-se o acamamento em diversas espécies, entre ela o arroz (BUZETTI et al., 2006; ALVAREZ et al., 2007; NASCIMENTO et al., 2009), a soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008), o milho (ZAGONEL & FERREIRA, 2013) e a crotalária (KAPPES et al., 2011).

Em trigo, o uso de reguladores vegetais tem sido empregado em função dos efeitos pronunciados sobre o desenvolvimento, destacando o estímulo do perfilhamento, a redistribuição de biomassa com aumento do crescimento das raízes, a redução da estatura e o fortalecimento de colmos, reduzindo consequentemente, os riscos de acamamento (RODRIGUES et al., 2003; ESPINDULA et al., 2010a; ZAGONEL & FERNANDES, 2007; STACHECKI et al., 2004). As principais alterações verificadas pela aplicação de regulares de crescimento em plantas de trigo são a redução dos entrenós, da altura das plantas e do acamamento, a modificação da arquitetura foliar, o aumento do perfilhamento e da produtividade (ZAGONEL, 2002; ZAGONEL & FERNANDES, 2007; PENCKOWSKI, 2009).

Diante das várias substâncias testadas com objetivo de inibir o crescimento de plantas, o trinexapac-ethyl tem apresentado destaque, devido a sua eficiência na redução da estatura das plantas de cereais de inverno (ZAGONEL et al., 2002). Este composto é absorvido pelas folhas e transcolado até os entrenós do colmo, onde atua no balanço das giberelinas (KERBER et al., 1989). Reduz a elongação celular no estádio vegetativo, obstruindo a biossíntese do ácido giberélico ativo (GA_1) por inibir a enzima 3β-hydroxilase (NAKAYAMA et al., 1990) e aumentando acentuadamente seu precursor biossintético imediato, o GA_{20} (HECKMAN et al., 2002).

A redução do nível do ácido giberélico ativo é a provável causa da inibição do crescimento das plantas (RADEMACHER, 2000). Sua atuação ocorre de forma seletiva, por meio da redução do nível de giberelina ativa, induzindo a planta à

inibição temporária ou a redução da taxa de crescimento, sem afetar o processo de fotossíntese, a integridade da gema apical e o volume de massa de raízes (FREITAS et al., 2002). Outro efeito deste regulador de crescimento consiste na inibição parcial do transporte de elétrons nas mitocôndria, diminuindo a respiração celular e indicando outro local potencial para ação do trinexapac-ethyl (HECKMAN et al., 2002).

O efeito gerado pelo redutor de crescimento é dependente de vários fatores, entre eles a dose utilizada, a época de aplicação e de semeadura, as condições de ambiente, o estado nutricional e fitossanitário da planta (RODRIGUES et al., 2003). A dose recomendada pelo fabricante de trinexapac-ethyl (Moddus®) para a cultura do trigo é de 400 a 500 mL ha^{-1}, aplicado entre o primeiro e o segundo nó visível. Porém, esta recomendação é ampla e não distinta em relação ao porte das cultivares, que podem responder de maneira diferencial em relação à dose do produto (ZAGONEL & FERNANDES, 2007; RODRIGUES et al*.,* 2003).

O crescimento consiste na produção e na distribuição de carbono entre os diferentes órgãos do vegetal sendo reflexo da interação entre genótipo e ambiente (MARCELIS, 1993). A análise de crescimento é método acessível, preciso e utilizado com a finalidade de avaliar o comportamento vegetal em diferentes condições de meio e manejo, permitindo a inferência da contribuição dos diferentes processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal (RADFORD, 1967). Consiste no primeiro passo para a interpretação e a análise de produção primária e possibilitar a avaliação da capacidade competitiva entre plantas (RADFORD, 1967).

A análise de crescimento pode ser empregada para a análise da adaptação ou aclimatação ecológica de culturas a diferentes ambientes e para a análise da capacidade produtiva de diferentes genótipos (RADFORD, 1967; BENINCASA, 2003). Possibilita avaliar a contribuição das diferentes estruturas vegetais no acúmulo de matéria seca e no rendimento das espécies, permitindo desta forma, estabelecer a estimativa do desenvolvimento e da contribuição dos processos morfofisiológicos sobre o desempenho vegetal (BENINCASA, 2003; PEIXOTO & PEIXOTO, 2009).

De acordo com Silva et al. (2000), o crescimento de espécies cultivadas pode ser avaliado pelo acúmulo de matéria seca entre órgãos, área foliar e atributos morfológicos, sendo possível determinar as relações entre a ação do ambiente e do tempo sobre as culturas. As variações na quantidade de biomassa e de área foliar

ao longo do tempo são utilizadas para estimar diversos índices fisiológicos, como a taxa de crescimento da cultura e a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação líquida, sendo assim, estas variáveis podem ser utilizadas para explicar a produção de diferentes cultivares, ou de diferentes tratamentos em uma mesma cultivar (RADFORD, 1967).

Por meio do processo fotossintético, as plantas absorvem energia luminosa e fixam CO_2 atmosférico em compostos carbonados destinados ao crescimento e desenvolvimento (MARENCO & LOPES, 2007).O crescimento de uma planta é função da produção e da distribuição de matéria seca ao longo da sua ontogenia, onde assimilados produzidos por meio da fotossíntese podem ser armazenados ou distribuídos entre os diferentes órgãos dreno da planta (AUMONDE et al., 2011b).

A partição de matéria seca consiste na quantidade de biomassa acumulada pela planta nos diferentes órgãos durante seu ciclo de vida e possui importância no estudo do vegetal por influenciar na alocação final de carbono em diferentes estruturas vegetais (GUIMARÃES et al., 2002). Os assimilados que são provenientes de folhas com taxa de produção líquida positiva, de maneira geral, são direcionados para os drenos fortes mais próximos. As folhas, conforme sua idade ou posição, podem exportar para um sentido preferencial, assim, folhas jovens, mais altas, exportam acropetamente para o ápice, e as folhas maduras inferiores exportam basipetamente para as raízes, já as intermediárias podem exportar para ambos sentidos (LOPES & LIMA, 2015).

Vários trabalhos foram realizados por meio do emprego da técnica de análise de crescimento de plantas sob diferentes condições de meio, manejo ou capacidade produtiva, como em mini melancia (AUMONDE et al., 2011a), pimenta (PEDÓ et al., 2013), maria-pretinha (AUMONDE et al., 2013) cevada (SILVA et al., 2007), arroz (FALQUETO et al., 2009), e centeio (PEDÓ et al., 2015).

A qualidade de sementes possui relação aos fatores bióticos e abióticos que atuam de forma direta ou indiretamente sobre esta estrutura reprodutiva, sendo expressa pela interação dos componentes genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012). O componente fisiológico é influenciado pelo ambiente em que as sementes foram produzidas (VIEIRA, 2006), desta maneira, pode-se utilizar resultados de germinação e de testes de vigor, para diferenciar o potencial fisiológico de sementes em função dos tratos culturais aplicados (ANDRADE, 1999).

A germinação é avaliada em ambiente controlado e sob condições ótimas de temperatura, umidade e aeração. Expressa resultados referentes à emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando a capacidade da semente em produzir uma plântula normal, sob condições favoráveis de campo (BRASIL, 2009). Este teste apresenta limitações e geralmente não demonstra o desempenho da semente no campo (MARCOS FILHO, 1999). Neste contexto, a determinação da expressão do vigor é importante quando se objetiva expressar o potencial fisiológico das sementes.

O vigor de sementes, e acordo com Krzyzanowski & França Neto (2001), é o inverso da deterioração, sendo que quanto maior o vigor menor a deterioração da semente. No processo de germinação, as alterações fisiológicas decorrentes de reduzido vigor são facilmente caracterizadas pelo decréscimo do porcentual de germinação das sementes, lento crescimento de plântulas, produção de plântulas anormais, alterações bioquímicas relacionadas ao funcionamento dos sistemas enzimáticos envolvidos nos processos de disponibilização, mobilização e utilização das reservas na formação de tecidos da plântula em desenvolvimento.

Fatores diretos atuam sobre a semente, enquanto, os indiretos afetam processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem na planta matriz, alterando a partição de assimilados entre os diferentes órgãos, a biossintese de compostos e o vigor de sementes (PESKE et al., 2012). A máxima qualidade fisiológica das sementes é atingida por ocasião da maturidade fisiológica e a partir desse ponto da curva de maturação, começam a ocorrer processos degenerativos, de natureza física, fisiológica ou bioquímica que caracterizam a deterioração (SANTOS et al., 2004; HOFS et al., 2004).

A expressão do vigor é relacionada às condições edafoclimáticas durante o processo maturação da semente, às condições de armazenamento, ao tamanho das sementes e ao grau de injúria mecânica, ao tratamento químico das sementes e a nutrição das plantas (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012; MEIRELES et al., 2009; TOLEDO et al., 2009).

A nutrição adequada de plantas cultivadas por meio da utilização de fertilização equilibrada com macro e micronutrientes constitui um fator importante no cenário produtivo de sementes, visando à obtenção de sementes de alta qualidade (SAWAN, 2013). As condições de solo, em termos de composição e disponibilidade de nutrientes afetam a formação do embrião, estruturas de reserva, composição

química, a atividade enzimática e na expressão do vigor das sementes (OLIVEIRA et al., 2006). Considerando que, a alta disponibilidade de elementos minerais pode influenciar negativamente o crescimento de plantas e a qualidade de sementes, o estudo do efeito associado da aplicação de fertilizantes para altos rendimentos e de regulador de crescimento, merece destaque na produção de sementes.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento de plantas de trigo submetidas a aplicação de regulador de crescimento vegetal e adubação para altos rendimentos, assim como, a composição química e a qualidade fisiológica de sementes produzidas.

2. Capítulo I – Regulador de crescimento trinexapac-ethyl e adubação de plantas de trigo para altos rendimentos: crescimento e expressão do vigor de sementes

2.1.1 Introdução

O trigo é uma das espécies agrícolas de maior importância para a alimentação humana e, devido à composição das proteínas de reserva, permite através do processo de panificação, a obtenção de diversos produtos, que colaboram para que este cereal seja alimento mundialmente consumido. A Região Sul brasileira é responsável pela produção de 95% das 5.9 milhões de toneladas de trigo produzidas nacionalmente, as quais atendem aproximadamente 50% do consumo Nacional o que leva o Brasil a ser um importador do grão (CONAB, 2015).

Entre as práticas de manejo mais importantes no aumento do rendimento, a adubação do solo constitui prática determinante para o adequado desempenho das plantas, permitindo que estas expressem todo seu potencial genético, fisiológico e produtivo (LANTMANN et al., 2005). Nas plantas, o nitrogênio está relacionado à biossíntese de proteínas e aminoácidos, enquanto o potássio tem papel na translocação de açúcares, ativação de enzimas e regulação osmótica e o fósforo atua diretamente no desenvolvimento de raízes, na germinação, na maturação, no florescimento, na formação de sementes e na resistência apresentada ao frio pelos cereais de inverno (MALAVOLTA, 2006).

A disponibilidade em níveis adequados destes minerais na solução do solo favorece o crescimento das plantas e a melhor qualidade das sementes de diferentes espécies (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012). Em contrapartida, o fornecimento excessivo de elementos minerais, especialmente de nitrogênio, predispõe as plantas ao acamamento, comprometendo a produtividade, a qualidade de sementes e dificultando a colheita mecanizada (TEIXEIRA FILHO et al., 2010).

Os reguladores de crescimento vegetal são empregados para evitar problemas ocasionados pela elevação exacerbada dos níveis de fertilidade dos solos. Tem se destacado a utilização de trinexapac-ethyl pela sua eficiência na redução da estatura de plantas, por proporcionar a melhoria da arquitetura foliar e o aumento do diâmetro do colmo de plantas de trigo (ZAGONEL & FERNANDES, 2007). Este composto é absorvido pelas folhas e transcolado até os entrenós do colmo, onde atua no balanço das giberelinas, reduzindo o alongamento celular no estádio vegetativo, por obstruir a biossíntese do ácido giberélico ativo (GA_1) por meio da inibição da enzima 3 β-hydroxilase (NAKAYAMA et al., 1990). A redução nos níveis de giberelina ocasiona a redução do crescimento devido à giberelina ser responsável pela divisão e alongamento celular (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A capacidade dos reguladores de crescimento vegetal em alterar a fisiologia e a morfologia da planta constitui uma ferramenta de elevada importância na busca de altos potenciais produtivos em plantas de trigo (FIOREZE & RODRIGUEZ, 2014). Para a avaliação da necessidade do emprego de regulador de crescimento, é fundamental levar em consideração as condições edafoclimáticas e o nível de nitrogênio no solo (PENCKOWSKI & FERNANDES, 2010). Devido ao fato de ocorrerem respostas diferenciais à aplicação do regulador de crescimento entre espécies e entre plantas de uma mesma espécie, há a necessidade da caracterização de atributos fisiológicos de crescimento e de partição de assimilados em plantas de trigo, além da avaliação da expressão do vigor das sementes originadas sob tal influência.

A análise de crescimento constitui método quantitativo de baixo custo, preciso e utilizado para avaliar o crescimento vegetal ao longo do tempo e frente a diferentes condições de meio e de manejo (RADFORD, 1967), possibilitando inferir sobre diferentes processos fisiológicos relacionados a caracterização do desempenho da planta e a interpretação e a avaliação da produção primária (RADFORD, 1967; LOPES & LIMA, 2015). Enquanto, o vigor de sementes mantém relação com o nível de reservas na semente, a hidrólise, a translocação e a alocação em plântula, bem como, com o desempenho de sementes em condições de campo que pode ser medido pelo teste de emergência de plântulas (PESKE et al., 2012).

Baseado no exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação do regulador trinexapac-ethyl no crescimento, na partição de assimilados e

na expressão do vigor de sementes de trigo sob condição de adubação de plantas para alto rendimento.

2.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, modelo capela, disposta na direção norte-sul, revestida de policarbonato e dotada de controle de temperatura, situada à altitude de 13 m, 31º 52’ de latitude Sul e 52º 21’ de longitude Oeste, na Universidade Federal de Pelotas. O clima da região, segundo classificação de Köppen é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente.

Foram utilizadas sementes de trigo da cultivar OR Topázio, indicada para todas as regiões tritícolas do Rio Grande do Sul e do Paraná, com altura de plantas de 0,80 m e hábito vegetativo semiereto. A semeadura foi realizada no dia 27/06/14 em baldes de polietileno, com capacidade individual de 12 litros, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), com características químicas e físicas de pH (H_2O): 5,1; P: 121,2 mg dm^{-3}; K: 123 mg dm^{-3}; Ca: 2,7 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg: 0,9 $cmol_c$ dm^{-3}; Al: 0,2 $cmol_c$ dm^{-3}; B: 0,3 mg dm^{-3}; Cu: 5,6 mg dm^{-3}; Zn: 2,2 mg dm^{-3}; Mn: 9 mg dm^{-3}; CTC: 8,1 cmolc dm^{-3}; saturação por bases: 52%; matéria orgânica: 1,8%; argila: 17%.

A adubação foi realizada seguindo recomendações do Manual de Adubação e Calagem dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004), sendo o solo corrigido para atender a expectativa de produção de 5 t ha^{-1}. A adubação fosfatada e potássica foi incorporada ao solo em pré-semeadura, constando de 45 e 30 Kg ha^{-1} de fósforo e de potássio, respectivamente, utilizando-se como fonte, super fosfato triplo (41 % P_2O_5) e cloreto de potássio (58 % K_2O). A adubação nitrogenada constou de 20 Kg ha^{-1} de nitrogênio incorporados ao solo no momento da semeadura e 100 Kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, no início do perfilhamento, 30 dias após a semeadura, utilizando como fonte uréia (45% de N).

Foram utilizadas quatro plantas por vaso, onde cada planta constituiu uma repetição. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de cinco doses do regulador

de crescimento vegetal trinexapac-ethyl [0 - sem aplicação; 200; 400; 600 e 800 mL p.c. ha^{-1}] e oito épocas de coletas de plantas [14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 e 112 dias após a emergência (DAE)].

O regulador de crescimento vegetal utilizado para o experimento foi o trinexapac-ethyl, de nome comercial Moddus® "{ethyl 4-cyclopropyl(hydroxy)methylene-3,5-dioxocyclohexanecarboxylate"}. A aplicação via pulverização foliar utilizando pulverizador de barras pressurizado com CO_2 e pontas tipo leque (110-020), com volume de calda de 150 L ha^{-1}, foi efetuada aos 41 dias após a emergência, quando as plantas se encontravam em alongamento, entre o primeiro e o segundo nó visível, correspondendo ao estádio 6 da escala de Feeks & Large (LARGE, 1954).

As avaliações foram efetuadas por meio de coletas sucessivas, a intervalos regulares de quatorze dias após a emergência, durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas. Em cada coleta foi aferida a altura do colmo, determinada do nível do solo até a extremidade superior do colmo (base da espiga) com auxílio de fita métrica e os resultados expressos em milímetros, a seguir, as plantas foram separadas em diferentes órgãos da parte aérea (folhas, colmo e estruturas reprodutivas quando presentes) e raízes.

Para a determinação da área foliar (A_f) foi empregado medidor de área Licor LI-3100 e os resultados expressos em metros quadrados (m^2). Para a quantificação da matéria seca, as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada a 70 $\pm$ 2ºC, até massa constante.

O índice de área foliar (L) foi calculado pela fórmula: $L = A_f / S_t$, sendo S_t a área superficial do vaso ocupado pela planta. Os dados primários de matéria seca total acumulada (W_t) foram ajustados pela equação logística simples: $W_t = W_m/(1+A_e^{-Bt})$, em que W_m é a estimativa assintótica do crescimento máximo; "A" e "B", constantes de ajustamento; "e", a base natural de logaritmo neperiano e "t", o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969).

Os dados primários de área foliar (A_f), de matéria seca da folha (W_f), colmo (W_c), raízes (W_r) e espiga (W_{esp}) foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Os valores da taxa de produção de matéria seca total (C_t) foram obtidos por meio de derivadas temporais das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) (RADFORD, 1967). Para a determinação dos valores instantâneos da taxa

de crescimento relativo (R_w) foi empregada a equação: $R_w = 1/W_t.d_w/d_t$ e os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), razão de área foliar (F_a) e a razão de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f.d_w/d_t$; $F_a = A_f/W_t$; $F_w = W_f/W_t$; conforme Radford (1967).

O índice de colheita (IC) foi determinado pela equação $IC = W_s/W_t$, sendo W_s corresponde à massa seca de sementes e o W_t a matéria seca total da planta. A eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi determinada pela equação $\xi\ (\%) = (100.C_t.\delta)/R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente (cal m^{-2} dia^{-1}) quatorze dias anteriores ao C_t correspondente e δ valor calorífico de 4421,61 cal g^{-1} de acordo com Demirbas (2003).

A partição de matéria seca entre as diferentes estruturas da planta (raízes, colmo, folhas e espigas) ao longo do desenvolvimento das plantas foi determinada, separadamente, a partir da aferição da massa alocada em cada estrutura vegetal seguida pela transformação dos dados primários de alocação de massa seca de cada órgão para porcentagem.

O teste de emergência de plântulas foi conduzido com sementes produzidas por plantas submetidas a cada dose de regulador vegetal, por meio da utilização de quatro amostras, cada uma composta de quatro subamostras de 50 sementes por tratamento, dispostas para germinar em bandejas de polietileno preto contendo solo anteriormente caracterizado, em ambiente de casa de vegetação. O índice de velocidade de emergência de plântulas foi determinado a partir da contagem diária do número de plântulas emergidas (NAKAGAWA, 1994).

A temperatura foi obtida por meio de termômetro de mercúrio de máxima e mínima instalado a altura de 1,5 m do piso, localizado no centro da casa de vegetação. Os dados de radiação solar foram obtidos por meio do boletim climatológico da Estação Agroclimatológica de Pelotas do ano de 2014, situada a 100 metros do local de condução do trabalho e utilizando um fator de correção de 36,67% de redução (Figuras 1a e 1b). O fator de correção foi determinado a partir da diferença de radiação solar incidente sobre o dossel das plantas no interior da casa de vegetação e os valores de radiação solar no exterior.

Os dados referentes à altura de planta, ao índice de colheita, emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, ajustados por polinômios ortogonais. Dados primários de matéria seca total, área foliar, matéria

seca de caule, de raízes e de espigas foram submetidos a análise de variância, sendo o crescimento avaliado pela equação logística simples (LOPES & LIMA, 2015).

2.3 Resultados e discussão

Os resultados para as variáveis de emergência e índice de velocidade de emergência de plântulas não apresentaram significância a 5% pelo teste F. Na Tabela 1 consta o resumo da análise de variância com os quadrados médios para dados primários de área foliar, matéria seca de folhas, de colmo, de raízes e espigas. As médias de temperatura máxima e mínima ao longo do desenvolvimento das plantas foram de 26 e 12 °C, respectivamente (Figura 1a). A radiação solar apresentou tendência crescente ao longo do ciclo das plantas, atingindo o máximo de 370,86 cal cm^{-2} dia^{-1} aos 112 dias após a emergência das plântulas (Figura 1b).

Nos cinco tratamentos, a matéria seca total (W_t) de plantas de trigo ajustou-se a tendência logística com elevado coeficiente de determinação (R=0,99), conforme observado na Tabela 2. Os efeitos mais pronunciados observados ao final do ciclo de desenvolvimento em plantas sob efeito de T2 e T4 comparativamente às plantas não submetidas à aplicação do produto (T1) (Figura 1c).

Inicialmente, em plantas de todos tratamentos, houve fase de lento crescimento até os 42 DAE que foi seguida por fase de intenso crescimento, sendo que em plantas de T2 os valores de W_t foram superiores àquelas de T1 aos 56 dias após a emergência (DAE). Contudo, foi verificada redução de 70,48 g m^{-2} (14,7%), 67,47 g m^{-2} (14%), 50,23 g m^{-2} (10,23%) e 26,78 g m^{-2} (5,6%) na alocação de carbono em plantas sob efeito de T4 (600 mL ha^{-1}), T2 (200 mL ha^{-1}), T5 (800 mL ha^{-1}) e T3 (400 mL ha^{-1}), respectivamente, comparativamente àquelas sem aplicação (T1), aos 112 DAE.

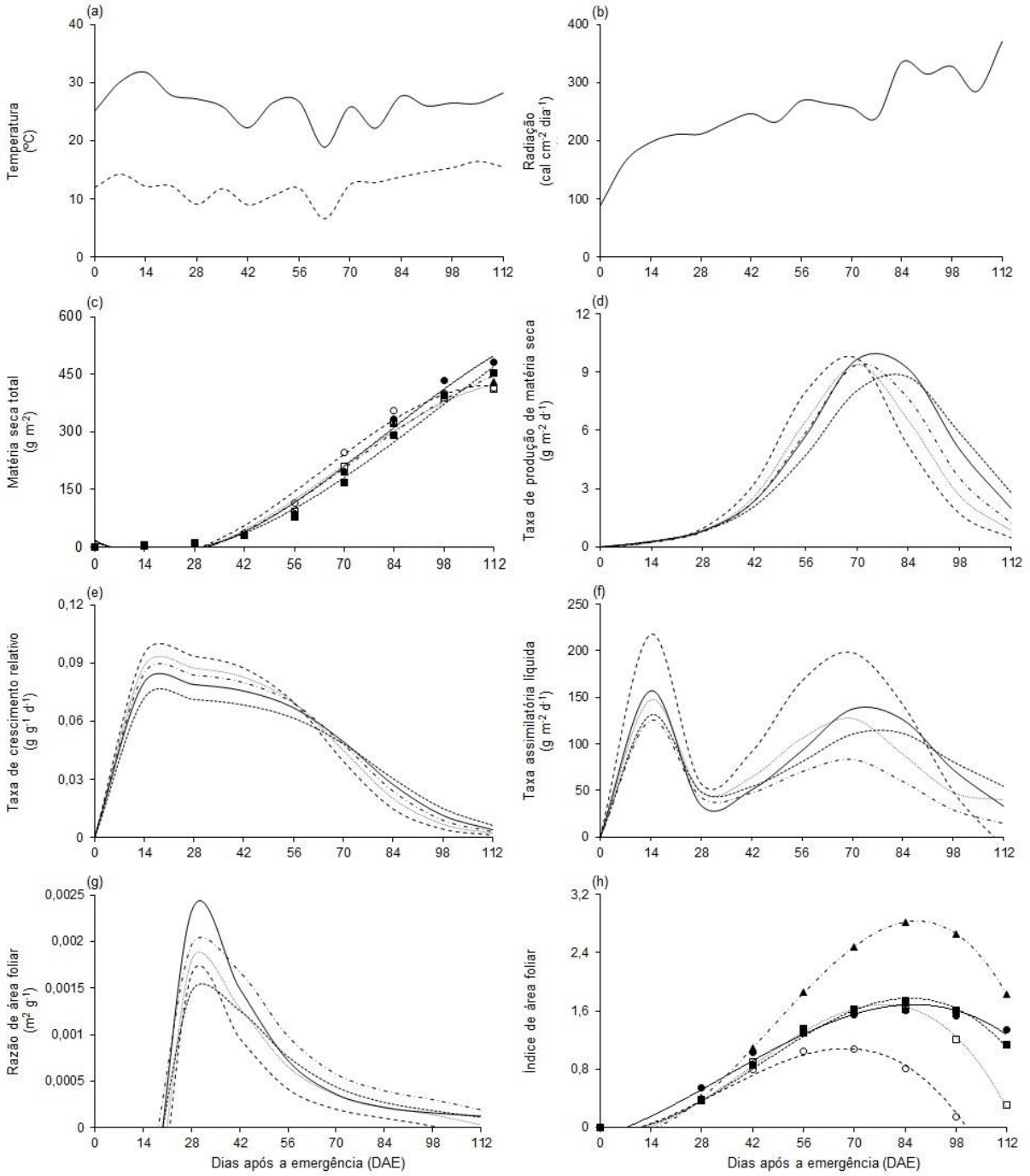

Figura 1. Temperaturas máxima (———) e mínima (- - - -) (a), radiação solar (b), matéria seca total (c), taxa de produção de matéria seca (d), de crescimento relativo (e), assimilatória liquida (f), razão de área foliar (g) e índice de área foliar (h) de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetido a adubação para altos rendimentos e doses de aplicação do regulador de crescimento trinexapac-ethyl. Sendo T1 = sem aplicação (———), T2 = 200 mL ha^{-1} (- - - -), T3 = 400 mL ha^{-1} (-------), T4 = 600 mL ha^{-1} (·····) e T5 = 800 mL ha^{-1} (— · —).

O baixo crescimento na fase inicial (42 DAE) está relacionado à baixa absorção de água e de nutrientes, a menor área foliar, as reduzidas taxas de respiração e assimilatória líquida (MONTEITH, 1969). Contudo, os menores valores de W_t, aos 112 DAE, em plantas sob efeito do regulador de crescimento, podem ser explicados parcialmente, pela ação do produto na redução da síntese de giberelina, que é responsável pela divisão e alongamento celular (TAIZ & ZEIGER, 2013).

As taxas de produção de matéria seca (C_t) foram baixas até os 42 DAE, corroborando a baixa produção de matéria seca total em tal período (Figura 1d). As máximas taxas de produção de matéria seca foram obtidas aproximadamente aos 75, 67, 80, 70 e 70 DAE para plantas submetidas a T1 (sem aplicação), T2 (200 mL ha^{-1}), T3 (400 mL ha^{-1}), T4 (600 mL ha^{-1}) e T5 (800 mL ha^{-1}). Plantas submetidas a T2 anteciparam a obtenção da máxima C_t comparativamente às demais, enquanto, plantas de T3 atingiram os menores valores de C_t e retardamento na sua obtenção. Desse modo, houve diferença temporal-quantitativa nas taxas de produção de matéria seca, as plantas submetidas às diferentes doses do regulador de crescimento, demonstrando alteração na quantidade de matéria seca produzida por unidade de área e tempo.

O aumento da taxa de produção de matéria seca possui relação com o aumento da área foliar, o montante de fotoassimilados sintetizados e sua distribuição entre os diferentes órgãos da planta (LOPES & MAESTRI, 1973). No entanto, diferença temporal-quantitativa da C_t observada nos tratamentos que constaram de aplicação do trinexapac-ethyl pode estar relacionada à inibição temporária ou redução da taxa de crescimento das plantas, como reflexo da ação do regulador de crescimento (FREITAS et al., 2002). Zagonel et al., (2002) avaliando a ação do trinexapac-ethyl em trigo sob diferentes doses de nitrogênio e densidades de plantas, evidenciaram a redução na alongação do colmo e da estatura da planta.

As taxas de crescimento relativo (R_w) foram máximas aos 14 DAE, com posterior tendência sistemática ao declínio, até o final do ciclo de desenvolvimento das plantas de trigo (Figura 1e). É possível verificar, que plantas expostas a T2 (200 mL ha^{-1}), T4 (600 mL ha^{-1}) e T5 (800 mL ha^{-1}) demonstraram superior capacidade de incremento de matéria seca em relação àquela pré-existente, comparativamente a plantas submetidas a T3 (400 mL ha^{-1}) e T1 (sem aplicação), respectivamente. Plantas de T2, T4 e T5 apresentaram superioridade na ordem de 15,8; 10,1 e 5,9%, comparativamente às plantas de T1 (sem aplicação). Contudo, plantas submetidas a

dose de 400 mL ha^{-1} (T3) do regulador de crescimento, se sobrepuseram às plantas dos demais tratamentos a partir dos 70 DAE, demonstrando inversão quantitativa e a superioridade de R_w até o final do ciclo de cultivo (112 DAE).

No início do ciclo de desenvolvimento são esperadas maiores taxas de crescimento relativo em razão da maioria da área foliar da planta ser constituída por folhas jovens, com alta capacidade fotossintética e com elevada taxa de crescimento (AUMONDE et al., 2011a). De outro modo, o decréscimo de R_w está relacionado ao aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes, pela elevação da atividade respiratória e ao autosombreamento (PEDÓ et al., 2015).

A taxa assimilatória líquida (E_a), conforme expectativa, apresentou dois picos de máxima produção de assimilados ao longo da ontogenia das plantas (Figura 1f). Em plantas de todos os tratamentos, a maior E_a ocorreu aos 14 DAE, sendo o primeiro pico de E_a, no início do ciclo de desenvolvimento, em virtude da elevada quantidade de folhas jovens com alta capacidade de fotossíntese. Por outro lado, o segundo pico de E_a se deve ao surgimento dos órgãos reprodutivos e sementes, drenos metabólicos preferenciais com elevada capacidade mobilizadora de assimilados.

O segundo pico de E_a demonstra de forma evidente o efeito do regulador de crescimento. Plantas sob efeitos de T1 (sem aplicação) apresentaram o segundo pico aos 73 DAE e plantas sob ação de T2 (200 mL ha^{-1}), T3 (400 mL ha^{-1}), T4 (600 mL ha^{-1}) e T5 (800 mL ha^{-1}) aos 67, 78, 69 e 70 DAE, respectivamente. A aplicação do regulador de crescimento reduziu os valores de E_a em 7,4; 18,9 e 39,2%, para plantas submetidas a T4, T3 e T5 comparativamente a plantas sem aplicação do regular vegetal. Curvas de E_a apresentando dois picos durante a ontogenia de plantas já foram descritas por Silva et al. (2007) em cevada, Falqueto et al. (2009) em arroz e Pedó et al. (2015) em centeio.

A razão de área foliar (F_a) atingiu os maiores valores no início do ciclo de desenvolvimento das plantas de trigo (Figura 1g), onde plantas de todos os tratamentos alcançaram maiores valores de F_a aproximadamente aos 30 DAE. Plantas submetidas ao T1 obtiveram a F_a máxima de 0,0023 m^2 g^{-1}, seguidas por plantas de T5 com 0,0020 m^2 g^{-1}, de T4 com 0,0018 m^2 g^{-1}, T2 com 0,0016m^2 g^{-1} e T3 com 0,0014 m^2 g^{-1}. Contudo, a partir dos 42 DAE, plantas sob efeito de T5 apresentaram maiores valores de Fa comparativamente às demais. É possível verificar que a aplicação do regulador de crescimento proporcionou modificação

temporal-quantitativa em F_a, de forma positiva em plantas sob ação da maior dose que corresponde a 800 mL ha^{-1} (T5) e negativamente naquelas sob efeito de 200 mL ha^{-1} (T2).

Os maiores valores de F_a no início do ciclo de desenvolvimento são devido à maior parte dos assimilados originados da fotossíntese serem direcionados para a formação de folhas (AUMONDE et al., 2011), sendo estes, os drenos metabólicos preferenciais neste período (SILVA et al., 2007). Em contrapartida, o decréscimo de F_a no decorrer do ciclo das plantas pode ser explicado pelo aumento gradual de tecidos não assimilatórios e pela formação de estruturas reprodutivas que passam a constituir o dreno metabólico preferencial (PEDÓ et al., 2013).

O índice de área foliar (L) foi obtido com elevado coeficiente de determinação (R^2=0,99) para todos os tratamentos. Os valores máximos de L foram atingidos aos 70 DAE para plantas submetidas a T2 (200 mL ha^{-1}) e T4 (600 mL ha^{-1}) e aos 84 DAE para os demais tratamentos (Figura 1h). Verifica-se alteração quantitativa nos valores de L para plantas dos diferentes tratamentos, sendo que plantas de T5 alcançaram os maiores valores de L (2,81), seguidos pelas plantas de T3 (1,73), T4 (1,63), T1 (1,61) e T2 (1,08), configurando uma redução em relação a plantas de T5 de 38,4 %, 42%, 57,3% e 61,5%, respectivamente.

É possível observar que a aplicação do regulador de crescimento trinexapac-ethyl exerceu influência positiva no índice de área foliar, proporcionando incremento da área do solo ocupada por folhas. Resultados similares foram observados por Zagonel & Ferreira (2013), ao avaliarem o efeito de doses e épocas de aplicação do trinexapac-ethyl em híbridos de milho.

A razão de massa foliar (F_w) foi máxima no início do ciclo de desenvolvimento das plantas (Figura 2a). Os maiores valores de F_w ocorreram aos 31 DAE e foram obtidos para plantas submetidas às doses estabelecidas em T1 (sem aplicação), T4 (600 mL ha^{-1}), T3 (400 mL ha^{-1}), T5 (800 mL ha^{-1}) e T2 (200 mL ha^{-1}), respectivamente. Contudo, a partir dos 42 DAE, houve superioridade em plantas sob efeito de T3 (400 mL ha^{-1}) e T5 (800 mL ha^{-1}) comparativamente a plantas de T1. Dessa forma, fica demonstrado que a maior dose do regulador de crescimento favoreceu a maior alocação de matéria seca em folhas destas plantas comparativamente àquelas de T1.

O aumento de F_w no início do ciclo de desenvolvimento reflete a maior alocação de assimilados para as folhas em desenvolvimento, apontando este como

o dreno metabólico preferencial. Por outro lado, a redução de F_w ao longo do ciclo vegetal está relacionada à modificação do depósito metabólico preferencial para o colmo. Posteriormente, com o início da formação da espiga, ocorre novamente mudança no investimento preferencial de assimilados, passando para esta parte de modo acentuado e definitivo (LOPES & LIMA, 2015).

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) apresentou resposta diferenciada entre plantas dos distintos tratamentos, sendo o máximo atingido aos 77 DAE para plantas de T1 e T5, e aos 70 DAE para plantas dos demais tratamentos (Figura 1b). Os valores máximos foram de 2,67% para plantas de T1 (sem aplicação), 2,63% para àquelas de T2 (200 mL ha^{-1}), 2,55% para plantas de T3 (400 mL ha^{-1}) e de T5 (800 mL ha^{-1}), de 2,54% para àquelas de T4 (600 mL ha^{-1}). O aumento constatado para ξ corrobora com a tendência observada para C_t (Figura 1d) e para a radiação solar (Figura 1b).

Analisando a distribuição de assimilados em plantas de T1 (sem aplicação), nota-se que até os 56 dias após a emergência (DAE), as folhas foram as estruturas responsáveis pela maior alocação de assimilados, seguidas pelas raízes (Figura 2c). A partir dos 56 DAE observou-se acentuada redução na alocação de assimilados nestas estruturas, ocorrendo alteração do dreno metabólico principal, com priorização de colmos, espigas e sementes, respectivamente.

Plantas sob efeito de T5 (800 mL ha^{-1}) mantiveram-se superiores às demais em relação à alocação de assimilados nas folhas aos 56 DAE, sendo a quantidade de matéria seca de folhas em plantas de T5 superior na ordem de 9,48%; 16,74%; 10,39% e 24,97% em relação a plantas de T1, T2, T3 e T4. A partir dos 42 DAE, o acúmulo de assimilados no colmo de plantas de T5 apresentou acréscimos àqueles de plantas sob os demais tratamentos (Figura 2c, 2d, 2e, 2f e 2g). O direcionamento de assimilados para as espigas foi alterado aos 84 DAE em plantas expostas a T5, enquanto plantas submetidas à T1, T2, T3 e T4 tiveram alteração do partição de carbono para espigas mais precocemente, aos 70 DAE.

O atraso no direcionamento de assimilados para as espigas de plantas expostas a maior dose (T5), pode ser resultado do efeito mais pronunciado do regulador de crescimento, que atrasou o estádio de alongação do colmo. Além disso, ao maior período de priorização das folhas comparativamente às espigas, quanto ao investimento de assimilados (Figura 2a e 2g).

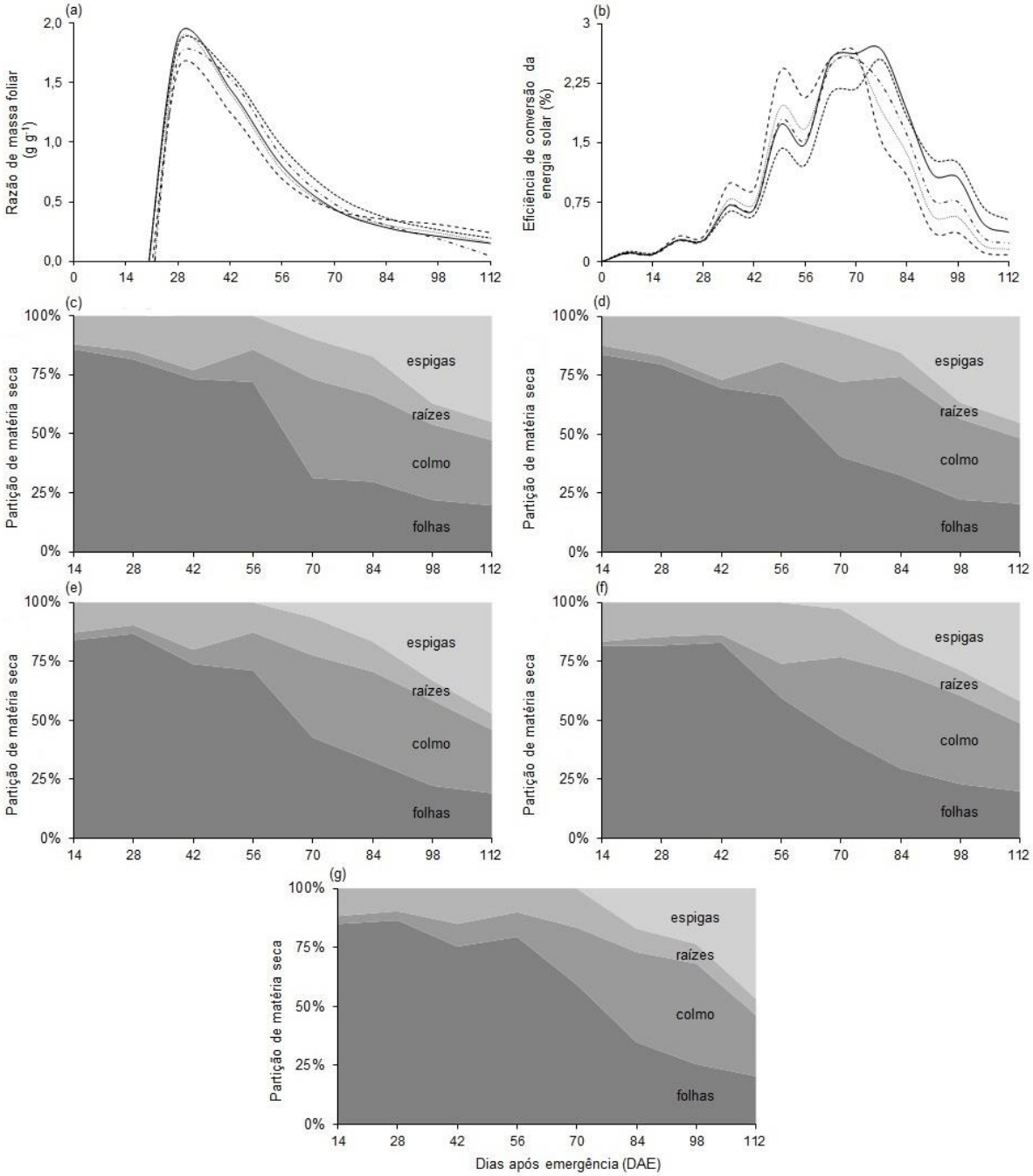

Figura 2. Razão de massa foliar (a), eficiência de conversão da energia solar (b) de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas a aplicação de adubação para altos rendimentos e a doses de trinexapac-ethyl, Sendo: T1= sem aplicação (———), T2=200 mL ha^{-1} (- - - -), T3=400 mL ha^{-1} (-------), T4=600 mL ha^{-1} (·····) e T5=800 mL ha^{-1} (— · —). E partição de matéria seca em diferentes estruturas de plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) expostas a aplicação de trinexapac-ethyl, sendo T1 = sem aplicação (c), T2 = 200 mL ha^{-1} (d), T3 = 400 mL ha^{-1} (e), T4 = 600 mL ha^{-1} (f) e T5 = 800 mL ha^{-1} (g).

A altura do colmo principal foi similar entre plantas dos diferentes tratamentos até os 56 DAE, fato este devido à não da aplicação do regulador de crescimento até

o referido momento (Figura 3a). A partir dos 70 DAE ocorreu maior alongação do colmo das plantas de T1 comparativamente àquelas dos demais tratamentos. Em relação a plantas de T1, aos 70 DAE, houve redução de 8%; 21%; 27% e 35% na altura do colmo de plantas de T2; T3; T4 e T5, respectivamente. Os efeitos da utilização do regulador de crescimento na altura de colmo se mantiveram até o final do ciclo de desenvolvimento da cultura, aos 112 DAE e em relação à T1, houve redução da altura de colmo de 2,77% em plantas de T3; 14,0% em plantas de T4 e 14,4 em plantas de T5.

A redução da altura do colmo das plantas de trigo submetidas a aplicação do trinexapac-ethyl deve-se a redução da alongação celular no estágio vegetativo pela obstrução da rota de biossíntese do ácido giberélico (NAKAYAMA et al., 1990) e pelo aumento acentuado de seu precursor biossintético imediato, o GA_{20} (HECKMAN et al., 2002). Resultados semelhantes, com redução da altura de plantas de trigo devido ao emprego de diferentes doses de aplicação de trinexapac-ethyl foram constatados por Zagonel & Fernandes (2007), Penckowski et al. (2009), e Espíndula et al. (2010).

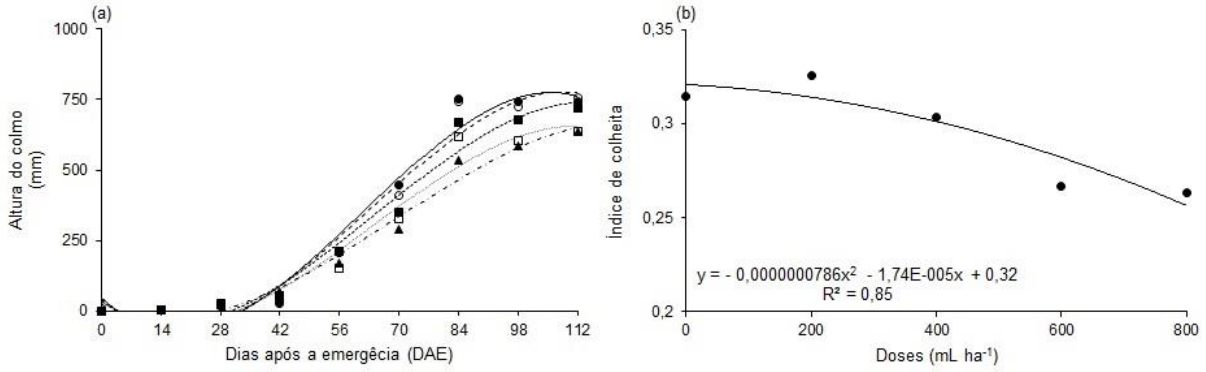

Figura 3. Altura do colmo principal (a) e índice de colheita (b) em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas a adubação para alto rendimento e a doses de aplicação do regulador de crescimento trinexapac-ethyl. (a) sendo: T1 (———), T2 (- - - -), T3 (-------), T4 (·····) e T5 (— · —).

O índice de colheita (IC) se ajustou ao modelo quadrático, com coeficiente de correlação de 0,85. Houve similaridade dos valores de IC até a dose de 400 mL ha^{-1}, indicando maior alocação de carbono nas sementes em relação à matéria seca total das plantas até esta dose, seguindo tendência de redução até a maior dose utilizada (Figura 3b). A tendência de redução do índice de colheita à partir da dose de 600 mL

ha^{-1} é relacionada com a menor alocação de carbono em sementes, ocasionada pelo atraso do segundo pico de E_a (Figura 1f) e consequentemente menor produção de compostos. Constata-se que doses elevadas, em geral acima das recomendadas para a cultura (400 à 500 mL ha^{-1}) são prejudiciais para a produtividade de sementes de trigo.

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios para dados primários de área foliar (A_f), matéria seca de folhas (W_f), de colmo (W_c), de raízes (W_r) e espigas (W_{esp}). Pelotas, UFPel, 2015

FV	GL	Quadrados Médios.				
		A_f	W_f	W_c	W_r	W_{esp}
Doses (D)	4	0.000827***	0.846***	0.667*	0.786***	39924,64***
Épocas (E)	7	0.0157***	73.921***	160.882***	12.421***	1886087***
D x E	28	0.000290***	0.396***	1.068915***	0.322***	6613,987***
Resíduo	117	0,0000134	0.107	0.1644136	0.0267	662,473
Total	159					
Média		0.0343	2.936	2.780	1.0418	332,43
CV(%)		10,7	11,17	14,58	15,70	7,74

Nível de significância (P = *5%, **1% e ***0,1%).

Tabela 2 – Equações relativas a dados de matéria seca total, índice de área foliar e comprimento do colmo principal de trigo produzidas sob adubação para altas produtividades e doses de regulador de crescimento. Pelotas, UFPel, 2015

Doses (mL ha^{-1})	Equações	R^2
	Matéria seca total (g m^{-2})	
0	$W_t = 506,37/(1+450,69e^{-0,0906t})$	0,96
200	$W_t = 417,93/(1+576,67e^{-0,096t})$	0,99
400	$W_t = 495,75/(1+319,5e^{-0,072t})$	0,95
600	$W_t = 419,5/(1+525,2e^{-0,089t})$	0,98
800	$W_t = 445,18/(1+509,59e^{-0,085t})$	0,98
	Índice de área foliar	
0	$y = 0,0000004x^3 - 0,0004x^2 + 0,0639x - 0,9145$	0,99
200	$y = -0,000004x^3 + 0,0002x^2 + 0,0354x - 0,6354$	0,99
400	$y = -0,000004x^3 + 0,0004x^2 + 0,0197x - 0,428$	0,99
600	$y = -0,000007x^3 + 0,0007x^2 + 0,0153x - 0,427$	0,99
800	$y = -0,00001x^3 + 0,0015x^2 - 0,0176x - 0,0694$	0,99
	Altura do colmo principal	
0	$-0,0025x^3 + 0,4584x^2 - 13,88x + 47,09$	0,96
200	$-0,0022x^3 + 0,4166x^2 - 12,495x + 42,333$	0,96
400	$-0,0017x^3 + 0,3368x^2 - 9,7024x + 32,96$	0,97
600	$-0,0017x^3 + 0,3252x^2 - 9,6866x + 34,456$	0,96
800	$-0,0011x^3 + 0,2366x^2 - 6,477x + 22,646$	0,98

De maneira geral, a matéria seca total ao final do ciclo de desenvolvimento e a taxa de crescimento relativo de plantas de trigo foram reduzidas com intensidade variável conforme a dose do regulador de crescimento. Em contrapartida, a razão de massa e de área foliar foram favorecidas pela aplicação de trinexapac-ethyl. Entretanto, a aplicação do regulador de crescimento não influenciou na emergência de plântulas de trigo originadas de sementes formadas em plantas sob ação do produto

2.4 Conclusões

Plantas de trigo sob influência de adubação para altos rendimentos e efeito de regulador de crescimento trinexapac-ethyl, apresentam respostas diferenciais no crescimento e na partição de assimilados entre as suas estruturas, com intensidades dependentes da dose do regulador de crescimento utilizada.

Plantas sob efeito de aplicação de regulador de crescimento possuem inferior taxa de crescimento relativo, com efeitos mais pronunciados ao ser empregada a dose de 200 mL ha^{-1}.

Plantas de trigo submetidas a doses de 400, 600 e 800 mL ha^{-1} atingem inferior taxa assimilatória líquida.

Plantas submetidas a dose de 400 mL ha^{-1} e de 800 mL ha^{-1} de regulador de crescimento vegetal atingem maiores valores de razão de área foliar, a partir dos 42 dias após a emergência das plântulas.

A altura de plantas e o índice de colheita são reduzidos pela aplicação do regulador de crescimento, sendo resultados mais drásticos obtidos na dose de 800 mL ha^{-1}.

O vigor de sementes não é influenciado pelo regulador de crescimento trinexapac-ethyl.

3. Capítulo II – Desempenho fisiológico e composição química de sementes de trigo sob adubação de plantas para altos rendimentos e aplicação de regulador de crescimento vegetal

3.1 Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é pertencente à família Poaceae e representa um dos cereais mais cultivados no mundo. Tanto a diversidade de utilização dos grãos quanto as suas características nutricionais e a facilidade de armazenamento, tornam esta espécie, alimento básico de aproximadamente um terço da população mundial (SLEPER & POEHLMAN, 2006). A produção de trigo no Brasil é concentrada na Região Sul e, embora tenha atingido valor superior a 5 milhões de toneladas na safra de 2014, não supre a demanda que é superior a 10 milhões de toneladas (CONAB, 2015).

A produtividade média da região Sul é de aproximadamente 2,3 t ha^{-1} (CONAB, 2015), entretanto, o cultivo de materiais mais modernos permite alcançar produtividades superiores a 6 t ha^{-1} (CUNHA & PIRES, 2005). A utilização destas cultivares associada a um manejo intensivo, tem sido estimulado e recomendado com intuito de maximizar a produtividade da espécie (RODRIGUES, et al. 2003). Para a obtenção de altos rendimentos é necessária a adoção conjunta de tecnologias próprias de cultivo, como época adequada de semeadura e posicionamento de cultivares, espaçamento e densidade de semeadura, elevação dos níveis de fertilidade do solo via ciclagem de nutrientes ou pela aplicação de fertilizantes sintéticos e o controle do acamamento em cereais (RODRIGUES e TEIXEIRA, 2003).

O excesso de suprimento mineral, especialmente nitrogênio via solo, resulta no crescimento exacerbado das plantas, favorecendo o acamamento e espigas mais próximas do solo, expostas a ambiente mais úmido. Quando o excesso ocorre na fase de enchimento das sementes, a produtividade é comprometida pela limitação

da fotossíntese, partição ou translocação dos fotoassimilados (ZAGONEL et al., 2002), com reflexos na redução do peso hectolítrico, germinação e aumento da dificuldade de colheita (ZAGONEL & FERNANDES, 2007).

Os compostos conhecidos como reguladores de crescimento são utilizados para minimizar o efeito do acamamento das plantas, visando aumentar a resistência à esta desordem fisiológica (MATYSIAK, 2006). Estas substâncias sintéticas possuem ações similares às dos hormônios (CHORBADJIAN et al., 2011; SOUZA et al., 2013) e atuam promovendo, inibindo ou modificando processos fisiológicos e morfológicos dos vegetais (RAVEN et al., 2007; TAIZ & ZEIGER, 2013).

O trinexapac-ethyl constitui um regulador de crescimento que interfere na biossíntese do ácido giberélico, por inibir a enzima 3 β-hydroxilase e obstruir a biossíntese do GA_1 (NAKAYAMA et al., 1990). A redução nos níveis de giberelina resulta na diminuição do crescimento vegetal, pois este hormônio é responsável pela divisão e alongamento celular (TAIZ & ZEIGER, 2013). Além da redução da altura das plantas, ocasiona o aumento do diâmetro do colmo, a modificação na arquitetura foliar e o incremento de produtividade (ZAGONEL & FERNANDES, 2007; PENCKOWSKI & FERNANDES, 2010).

Diversos trabalhos foram conduzidos com o regulador de crescimento trinexapac-ethyl com intuito de reduzir o acamamento e avaliar a produção em plantas de arroz (BUZETTI et al., 2006; ALVAREZ et al., 2007; NASCIMENTO et al., 2009), soja (LINZMEYER JUNIOR et al., 2008), milho (ZAGONEL & FERREIRA, 2013) e crotalária (KAPPES et al., 2011). Contudo, mesmo sendo amplamente utilizado na cultura do trigo, existe carência de dados referentes à caracterização do efeito do produto sobre a composição química e do desempenho fisiológico de sementes de trigo produzidas sob efeito da adubação para altas produtividades e ação de concentrações de regulador de crescimento.

Deste modo, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação do regulador de crescimento trinexapac-ethyl na composição química e no desempenho fisiológico de sementes de trigo produzidas sob condição de adubação de plantas para alto potencial de rendimento.

3.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, modelo capela disposta no sentido norte-sul, revestida de policarbonato e dotada de controle de temperatura, e no laboratório de sementes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, situada à altitude de 13 m, 31º 52' de latitude Sul e 52º 21' de longitude Oeste.

A cultivar utilizada no experimento foi a OR Topázio, indicada para todas regiões tritícolas do Rio Grande do Sul e do Paraná, com altura de plantas de 880 mm e hábito vegetativo semiereto. A semeadura foi realizada no dia 27/06/2014 em vasos de polietileno, com capacidade de 12 litros contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008) e com as seguintes características químicas e físicas: pH (H_2O): 5,1; P: 121,2 mg dm^{-3}; K: 123 mg dm^{-3}; Ca: 2,7 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg: 0,9 $cmol_c$ dm^{-3}; Al: 0,2 $cmol_c$ dm^{-3}; B: 0,3 mg dm^{-3}; Cu: 5,6 mg dm^{-3}; Zn: 2,2 mg dm^{-3}; Mn: 9 mg dm^{-3}; CTC: 8,1 cmolc dm^{-3}; saturação por bases: 52%; matéria orgânica: 1,8%; argila: 17%.

A adubação via solo foi realizada segundo recomendações do Manual de Adubação e Calagem dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004), sendo o solo corrigido para atender a expectativa de produção de 5 t ha^{-1}. As adubações fosfatada e potássica foram incorporadas ao solo em pré-semeadura, constando de 45 e 30 Kg ha^{-1} de fósforo e de potássio, respectivamente, utilizando-se como fonte, super fosfato triplo (41 % P_2O_5) e cloreto de potássio (58 % K_2O). A adubação nitrogenada constou de 20 Kg ha^{-1} de nitrogênio na forma uréia (45% de N), incorporado ao solo no momento da semeadura. Após, consistiu na aplicação de 100 Kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, no início do perfilhamento, 30 dias após a semeadura.

Os tratamentos consistiram de cinco doses do regulador vegetal trinexapac-ethyl [0 - sem aplicação; 200; 400; 600; 800 mL p.c. ha^{-1}]. O regulador de crescimento vegetal utilizado para o experimento foi o trinexapac-ethyl, de nome comercial Moddus® "{ethyl 4-cyclopropyl(hydroxy)methylene-3,5-dioxocyclohexanecarboxylate"} aplicado 47 dias após a semeadura, via foliar e por meio de pulverizador de barras pressurizado com CO_2 e pontas tipo leque (110-020),

com volume de calda de 150 L ha^{-1}. O produto foi aplicado quando as plantas se encontravam em elongação, entre o primeiro e o segundo nó visível, correspondendo ao estádio 6 da escala de Feeks & Large (LARGE, 1954).

A colheita foi manual e realizada em 31/10/14. Posteriormente, procedeu-se a secagem das sementes em estufa a temperatura de 41ºC até o teor de água de 12%, sendo efetuado o beneficiamento de forma manual e empregando peneiras de furo oblongo. As sementes foram armazenadas em câmara fria e seca, com controle de temperatura e umidade relativa.

Para a avaliação do efeito do regulador de crescimento vegetal sobre os atributos fisiológicos e bioquímicos de sementes de trigo foram efetuadas as seguintes análises:

a) Germinação: avaliada por meio de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento, sendo as sementes dispostas para germinar entre três folhas de papel de germinação, umedecido com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 horas. A contagem foi realizada aos oito dias após semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

b) Primeira contagem de germinação: foi realizada conjuntamente com o teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais, aos quatro dias após semeadura e os resultados expressos em porcentagem.

c) Velocidade de germinação e índice de velocidade de germinação: foram obtidos a partir de contagens diárias das sementes germinadas com protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm, até a obtenção de número constante (NAKAGAWA, 1994).

d) Massa seca de plântulas: avaliada aos oito dias após a semeadura. Para determinação da massa seca, foram coletadas quatro subamostras de 10 plântulas por tratamento, sendo as plântulas, separadas em parte aérea e raízes. Cada fração foi colocada separadamente em envelopes de papel pardo e submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 70 $\pm$ 2ºC, até massa constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão e os resultados foram expressos em mg $plântula^{-1}$.

e) Envelhecimento acelerado: as sementes foram distribuídas sobre tela metálica fixada no interior de caixas plásticas (“gerbox”), contendo a lâmina de 40

mL de solução salina saturada (Pedroso et al., 2010). A solução salina saturada foi composta por 11 gramas de NaCl para cada 100 mL de água e as caixas plásticas contendo as sementes foram mantidas em BOD a 43°C pelo período de 48 h (LIMA et al., 2006). Decorrido o tempo, as sementes foram dispostas para germinar nas mesmas condições do teste de germinação, sendo a contagem de germinação realizada aos quatro dias após semeadura (BRASIL, 2009).

f) Condutividade elétrica: foram utilizadas quatro amostras com quatro subamostras de 25 sementes, que tiveram sua massa previamente determinada. Após a determinação da massa, as sementes foram colocadas em copos de polietileno contendo 80 mL de água deionizada, mantidas em germinador do tipo BOD a temperatura de 20°C, com fotoperíodo de doze horas. A condutividade elétrica foi determinada após 3; 6 e 24 horas de embebição, por meio de condutivímetro digital, modelo Digimed 32. Os resultados foram expressos em μS cm^{-1} g^{-1} de sementes (VIEIRA & KRZYZANOWSKI, 1999).

g) Extração de açúcares solúveis totais, amido e aminoácidos: os extratos foram obtidos conforme metodologia modificada de Bieleski e Turner (1966). Para tal, as amostras de 200 mg de material vegetal (sementes), foram maceradas em gral e homogeneizadas com 10 mL de solução extratora “MCW” (metanol: clorofórmio: água, na proporção de 12:5:3). Após 24 horas, os extratos foram centrifugados a 2500 rpm durante 30 minutos, sendo recuperada a fração sobrenadante e o precipitado foi acondicionado em estufa com temperatura de 30ºC para secar.

Para cada 4 mL do sobrenadante, foi acrescentado 1,0 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água, procedendo-se a centrifugação para a separação de fases. O sobrenadante contendo os metabólitos foi coletado e transferido para banho-maria a temperatura de 38 ºC, onde permaneceu por 24 h para eliminação do resíduo de clorofórmio e concentração das amostras para as quantificação dos teores de açúcar solúveis totais e aminoácidos.

O precipitado, depois de seco, foi ressuspendido em 10 mL de ácido perclórico (PCA) 30% (*v/v*) e submetido à agitação contínua por 30 minutos, em agitador orbital, para a digestão do amido (McCready et al., 1950). Em seguida o extrato foi centrifugado a 2.000 rpm por 30 minutos, sendo recuperada a fração sobrenadante, que foi utilizado para a quantificação do teor de amido.

h) Quantificação do teor de açúcares solúveis totais: foi realizada com base em Graham & Smydzuk (1965). Para isso, foram coletados 40 µL de cada amostra, de um branco (água destilada) e dos padrões (10-150 µg de glicose mL^{-1}), em tubos de ensaio, mantidos em banho de gelo. A cada tubo foram adicionados 3 mL de solução resfriada de antrona (0,15% *p*/*v* em ácido sulfúrico concentrado), sendo dispostas sobre os tubos esferas de vidro. Após 15 minutos, procedeu-se a agitação e dos tubos e incubação em banho-maria a temperatura de 90 ºC pelo período de 20 minutos. Em seguida, os tubos foram mantidos no escuro, até atingir temperatura ambiente. Os tubos foram novamente agitados e a densidade óptica (D.O) dos padrões, foi determinada em espectrofotômetro Biospectro, modelo SP-22, a 620 nm.

i) Quantificação do teor de aminoácidos: foi realizada conforme Yemm & Cocking (1955). Para isso, foram coletados em tubos de ensaio, 50 µL de cada amostra e de um branco (água destilada) e nestes foram acrescentados 0,5 mL de tampão citrato (0,2 M pH 5,0); 0,2 mL do reativo de ninhidrina (5% em metilcelusolve) e 1 mL de KCN (2% *v*/*v* em metilcelusolve). Em seguida, os tubos foram agitados e cobertos com esferas de vidro, sendo conduzidos ao banho-maria sob temperatura de 100ºC pelo período de 20 minutos. Decorrido o tempo, os tubos foram transferidos para local escuro, até atingirem a temperatura ambiente. Posteriormente, foram acrescentados 1,3 mL de etanol (60%) sendo os tubos submetidos novamnte à agitação. A densidade óptica (D.O) dos padrões foi mensurada por meio de espectrofotômetro Biospectro SP-22, a 570 nm.

j) Quantificação do teor de amido: foram coletados em tubos de ensaio 50 µL de cada amostra, mantidas em banho de gelo. A estas foram adicionadas 3 mL de solução resfriada de antrona (0,15% *p*/*v* em ácido sulfúrico concentrado), sendo os tubos cobertos com esferas de vidro. Após 15 minutos, os tubos foram agitados e incubados em banho-maria a temperatura de 90 ºC por 20 minutos. Os tubos com o material foram mantidos no escuro até atingirem a temperatura ambiente. Os tubos foram novamente agitados e a densidade óptica (D.O) dos padrões, foi medida em espectrofotômetro Biospectro SP-22, a 620 nm.

l) Extração e quantificação do teor de proteína: foram determinados a partir de amostras de 200 mg de sementes, que foram maceradas em gral, homogeneizadas com 1500 µL do tampão de extração (fosfato de potássio 100 mM; pH 7,8; EDTA 0,1 mM; ácido ascórbico 1 mM e água destilada). Após, foi realizada a centrifugação a

11.800 rpm por 10 min a 4ºC, e coletou-se o sobrenadante. Em seguida em tubo de ensaio, foram adicionados 10 µL de amostra mais 2,5 mL do reagente de Bradford (1976). Os tubos foram novamente agitados e a densidade óptica (D.O) dos padrões, foi medida em espectrofotômetro a 595 nm (marca Biospectro, modelo SP-22).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, foram ajustados por polinômios ortogonais.

3.3 Resultados e discussão

Não houve diferença significativa para as variáveis índice de velocidade de germinação, matéria seca de parte aérea e de raízes, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica para os períodos de 6 e 24 horas.

A germinação foi obtida com elevado coeficiente de determinação (R^2=0,92), sendo crescente com o aumento da dose de trinexapac-ethyl aplicado nas plantas de trigo (Figura 1a) A germinação de sementes aumentou linearmente com o incremento na dose do regulador de crescimento, onde se constata um acréscimo em relação ao tratamento sem aplicação do regulador de crescimento de 1,2; 2,3; 5,8 e 6,9% para as doses de 200, 400, 600 e 800 mL ha^{-1}, respectivamente.

Os resultados apontam que a aplicação do regulador de crescimento em plantas de trigo não possui efeito residual de inibição na retomada do crescimento do embrião durante o processo de germinação de sementes de trigo. Isto poderia acontecer devido ao efeito do regulador de crescimento trinexapac-ethyl sobre a biossíntese do ácido giberélico, inibindo a enzima 3 β-hydroxilase e obstruindo a biossíntese do GA_1 (NAKAYAMA et al., 1990). A giberelina é exigida em várias espécies, durante o processo de germinação, para ativar o crescimento do embrião (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A elevação da germinação de sementes quando utilizadas maiores doses do trinexapac-ethyl pode ser consequência da melhoria na arquitetura das plantas, favorecendo a interceptação da radiação solar (ZAGONEL & FERNADES, 2007).

Além disso, pode ser relacionada à redução da distância entre fonte-dreno (FIOREZE & RODRIGUEZ, 2014).

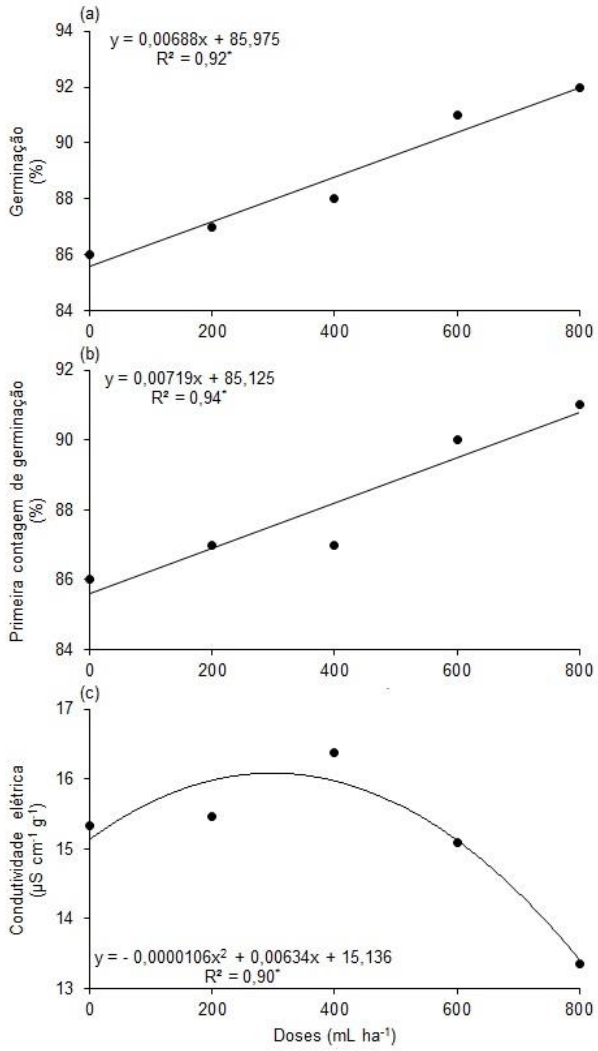

Figura 1 – Germinação (a), primeira contagem de germinação (b) e condutividade elétrica após 3 horas de embebição (c) de sementes de trigo produzidas por plantas sob influência de adubação para altos rendimentos e aplicação do regulador de crescimento vegetal. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Contudo, cabe salientar que a colheita foi efetuada no mesmo dia para as sementes de todos os tratamentos. Os menores valores de germinação obtidos neste trabalho, para sementes produzidas sob influência das três menores doses de regulador de crescimento, podem estar relacionadas ao fato destas sementes terem atingido a maturidade fisiológica antecipadamente em relação àquelas das doses de 600 e 800 mL ha^{-1}, assim, permanecendo maior tempo armazenadas no ambiente de cultivo após a maturidade fisiológica. A colheita deve ser efetuada o mais próximo

possível da maturidade fisiológica, sendo que retardamento resulta na maior influência do ambiente em processos de perda de qualidade da semente devido a aceleração do processo de deterioração (PESKE et al., 2012).

Os valores de primeira contagem de germinação se ajustaram a tendência linear e crescente com o aumento das doses do regulador de crescimento (Figura 1b). A primeira contagem de germinação de sementes atingiu incrementos de 1,2; 1,2; 4,7 e 5,8% para sementes provenientes de plantas submetidas a doses de 200, 400, 600 e 800 mL ha^{-1}, respectivamente, em relação àquelas sem aplicação.

Os maiores valores de primeira contagem de germinação se reportam ao aumento da expressão do vigor de sementes e constituem indicativo da maior eficiência na reorganização do sistema de membranas celulares, hidrólise e alocação de reservas na plântula (PESKE et al., 2012).

A condutividade elétrica, avaliada após 3 horas embebição, se ajustou ao modelo quadrático, atingindo ponto de máxima resposta na dose de 299 mL ha^{-1} (Figura 1c). Houve efeito mais pronunciado para a dose de 800 mL ha^{-1}, que resultou na redução de 12,8% nos valores de condutividade comparativamente àqueles de sementes oriundas de plantas sem a aplicação do trinexapac-ethyl.

As sementes produzidas por plantas submetidas à maior dose do regulador do crescimento apresentaram superior capacidade de reorganização das membranas celulares no período inicial de embebição, resultando em menor lixiviação de eletrólitos para a solução. O aumento na liberação de eletrólitos para a solução é relacionado à danificação ou a redução da capacidade do sistema de membranas restabelecer sua integridade, acarretando na perda da sua capacidade seletiva, indicando menor vigor (VIEIRA & KRZYZANOWSKI, 1999).

O teor de açúcares solúveis totais se ajustou ao modelo quadrático com tendência ao decréscimo, até o ponto de mínima resposta na dose de 470,6 mL ha^{-1} (Figura 2). Houve, posterior tendência à elevação no conteúdo de açúcares solúveis até a maior dose do regulador de crescimento, ocorrendo o incremento de 20,6% na quantidade destes compostos ao comparar o conteúdo no ponto de mínima resposta (470,6 mL ha^{-1}) e o conteúdo em sementes produzidas sob influência da maior dose (800 mL ha^{-1}).

Os teores de amido nas sementes de trigo produzidas por plantas submetidas à aplicação de trinexapac-ethyl também se ajustou ao modelo quadrático e foi obtido com elevado coeficiente de determinação (R^2=0,94) (Figura 2b). Os valores de

amido atingiram ponto de máxima resposta na dose de 448 mL ha^{-1}, atingindo o valor de 11,36 mg g^{-1}, com posterior tendência ao decréscimo. Ao estudarem o teor de amido de sementes de arroz (NEVES et al.,2007) e a composição química de sementes de trigo (SILVA et al., 2008) foram quantificados níveis semelhantes de amido.

Em sementes sob influência desta dose ocorreu o incremento teórico de 27,6% no teor de amido comparativamente a sementes de plantas não submetidas a aplicação de regulador de crescimento. E, mesmo com a posterior tendência a redução nos teores de amido até a dose de 800 mL ha^{-1}, houve nesta, em relação a sementes não submetidas à influência do regulador de crescimento, aumento na ordem de 11,9% na quantidade de amido em sementes de trigo.

O aumento dos teores de amido pode ser explicado pela melhoria na arquitetura das folhas das plantas submetidas à aplicação do regulador vegetal (ZAGONEL & FERNANDES, 2007), possibilitando melhor eficiência na captação e absorção da radiação solar, o que resultou na maior taxa de produção de assimilados.

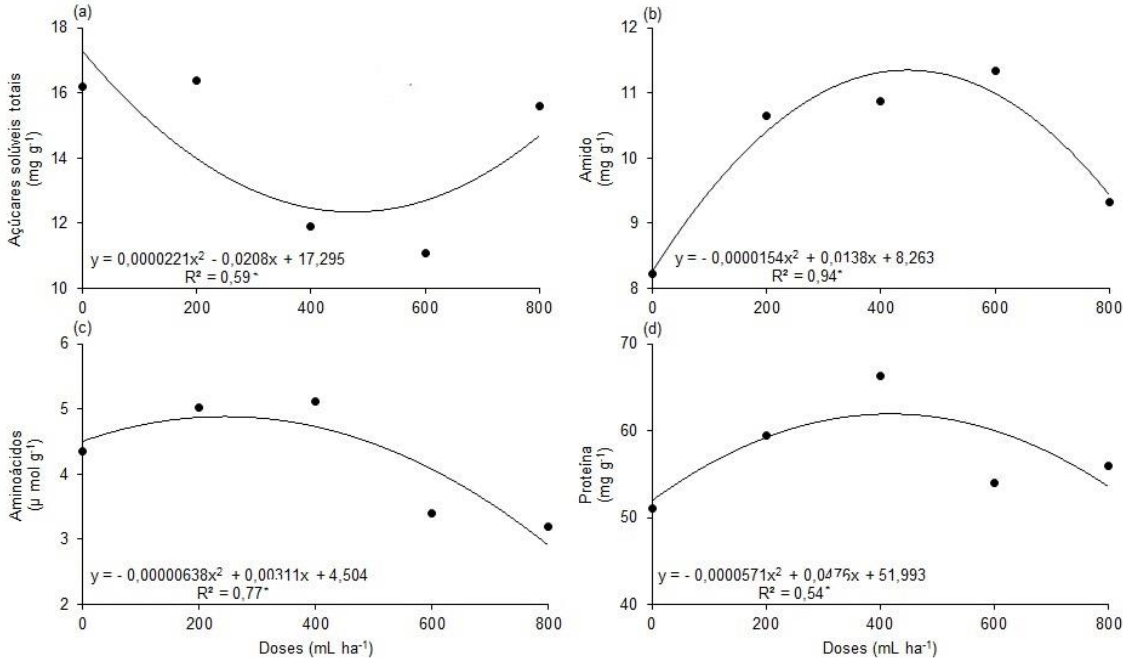

Figura 2 – Teor de açúcares solúveis totais (a), amido (b) aminoácidos (c) e proteínas (d) em sementes de trigo produzidas por plantas sob influência de adubação para altos rendimentos e aplicação do regulador de crescimento vegetal. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

No processo de alocação de assimilados, os açúcares depositados nas células dreno, podem ser mantidos como tal ou transformados em outros compostos. Em drenos de reserva, o carbono fixado pode ser acumulado como sacarose ou hexose nos vacúolos ou como amido nos amiloplastos (TAIZ & ZEIGER, 2013). A utilização dos açúcares importados é maximizada quando o suprimento é abundante (KOCH, 1996), explicando parcialmente, o decréscimo dos teores de açúcares e a elevação dos teores de amido.

O teor de aminoácidos atingiu ponto de máxima resposta na dose de 243,7 mL ha^{-1} com a quantidade de 4,88 µmol g^{-1} (Figura 2c). Houve posterior tendência de redução nos teores de aminoácidos até a dose de 800 mL ha^{-1}. A redução nos teores de aminoácidos em sementes produzidas sob influência das doses de 600 e 800 mL ha^{-1} de trinexapac-ethyl foi de 22,1 e 26,9%, comparativamente àquelas não submetidas ao produto.

O teor de proteínas atingiu o ponto de máxima resposta na dose de 416,8 mL ha^{-1} (Figura 2d). Houve incremento de 17,4 % no teor de proteína ao considerar sementes sob influência da dose de 416,8 mL ha^{-1} comparativamente àquelas onde o efeito do produto manteve-se ausente. Mesmo com tendência a redução nos teores de proteína ao incrementar a dose, houve incremento de 8,5% entre os valores obtidos a partir de sementes produzidas sob 800 mL ha^{-1} e àquelas sem aplicação do regulador de crescimento.

O aumento no teor de aminoácidos e proteínas mantém relação com as modificações morfológicas da planta, geradas pelo regulador de crescimento vegetal. Estas modificações podem favorecer o aproveitamento dos recursos do meio, principalmente da radiação solar (ZAGONEL & FERNANDES, 2007). Fatores ambientais, como a irrigação, temperatura, fertilidade, mobilidade do nutriente na planta e a disponibilidade de nitrogênio no solo, também podem afetar o teor de proteínas (CAZETTA et al., 2008).

Em situação de baixa disponibilidade de nitrogênio para a planta, ocorre redução da síntese de proteínas em sementes, aumentando em contrapartida, os teores de amido (ROSA FILHO, 2010). Nesse sentido, o aumento do teor de proteína que foi verificado, pode manter relação ao melhor aproveitamento dos recursos do meio, em especial da adubação nitrogenada fornecida em maior quantidade. Também, a melhor captação da radiação solar devido a melhoria da

arquitetura da planta, proporcionada por possíveis alterações morfológicas e fisiológicas resultantes da aplicação do trinexapac-ethyl. Resultados semelhantes nos teores de proteína foram evidenciados em sementes de sorgo obtidas de plantas sob ação do mesmo produto (LI et al., 2011).

A aplicação de regulador de crescimento vegetal proporcionou aumento da germinação e dos valores de primeira contagem de germinação. O aumento do número de sementes geminadas na primeira contagem mantém relação com a eficiência na capacidade de reorganização do sistema de membranas celulares, fato que se mostrou marcante nos valores de condutividade elétrica, apenas após três horas de embebição e para a maior concentração de regulador de crescimento utilizada. Além disso, o produto proporcionou o aumento nos teores de amido e de proteína, indicando elevação nos níveis de reservas nas sementes.

3.4 Conclusões

Nas condições em que o experimento foi realizado verificou-se que o incremento na dose do regulador de crescimento trinexapac-ethyl, aplicado em plantas de trigo sob influência de adubação para altos rendimentos, resulta no aumento dos valores de primeira contagem e redução da condutividade elétrica às 3 horas após embebição em sementes de trigo.

A aplicação de trinexapac-ethyl em plantas de trigo proporciona incremento dos teores de amido até a dose de 448 mL ha^{-1}; de aminoácidos até a dose 243 mL ha^{-1} e proteínas até a dose 417 mL ha^{-1}, com posterior decréscimo até a maior dose. Contudo, ocasiona a redução do teor de açúcares solúveis totais.

4. Considerações finais

A partir da análise dos resultados de crescimento, partição de assimilados, composição química e do desempenho fisiológico de sementes de trigo produzidas por plantas sob efeito da aplicação de regulador de crescimento vegetal trinexapac-ethyl e de adubação para alto rendimento, é possível observar que a utilização do regulador de crescimento afeta de forma diferencial o crescimento e a partição de assimilados em plantas de trigo, conforme a dose testada.

A alocação de matéria seca total e a taxa de crescimento relativo são reduzidos, com intensidade variável, e de acordo com a dose do regulador de crescimento. Em contrapartida, ocorre aumento da taxa assimilatória líquida, da razão de massa e área foliar.

Nas maiores doses de regulador de crescimento ocorre redução da altura do colmo e do índice de colheita. Contudo, os valores de primeira contagem de germinação aumentam até a maior dose do regulador de crescimento. A condutividade elétrica após três horas de embebição é reduzida, a partir da dose de 600 mL ha^{-1}.

A aplicação de trinexapac-ethyl em plantas de trigo proporciona incremento dos teores de amido até a dose de 448 mL ha^{-1}, de aminoácidos até a dose 243 mL ha^{-1} e proteínas até a dose 417 mL ha^{-1}, com posterior decréscimo até a maior dose. Entretanto, ocasiona a redução do teor de açúcares solúveis totais.

5. Referências bibliográficas

ABRANTES, F.L.; KULCZYNSKI, S.M.; SORATTO, R.P.; BARBOSA, M.M.M. Nitrogênio em cobertura e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3, p.106-115, 2010.

ALVAREZ, R.C.F CRUSCIOL, C.A.C; OCHEUZE, P.C.; 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, p.1487-1496, 2007.

ANDRADE, W.E.B.; SOUZA-FILHO, B.F.; FERNANDES, G.M.B.; SANTOS, J.G.C. Avaliação da produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro submetidas a adubação NPK. In: **COMUNICADO TÉCNICO**. Niteroi: PESAGRO-RIO, n.248, 5p, 1999.

ARTECA, R. N. Plant growth substances: **principles and applications**. New York: Champman & Hall, 1995. 332 p.

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciência**, v. 36, n. 9, p. 677-681, 2011a.

AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M. de; PEIL, R. M. N. Partição de matéria seca em plantas do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 9, n. 3, p. 387-391, 2011b.

AUMONDE, T.Z; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta daninha**, v.31, n.1, p.99-108, 2013.

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Arroz, milho e trigo. In: **BINOVA. Micronutrientes**. Ribeirão Preto: Binova, 2002. 3p. (Informativo Técnico).

BARREIRO, A. P.; ZUCARELI, V.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Análise de crescimento de plantas de manjericão tratadas com reguladores vegetais. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.

BERRY, P.M.; SPINK, J.H.; GAY, A.P.; CRAIGON, J. A comparison of root and stem lodging risks among winter wheat cultivars. **Journal of Agricultural Science**, v.141, p.191-202, 2003.

BEUKEMA, H.B.; ZAAG, D.E. Van der. **Introduction to potato production.** Wageningen - Netherlands: Pudac, 1990. 208 p.

BIELESKI, R.L.; TURNER, N.A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, v.17, p.278- 293, 1966.

BOLETIM AGROCLIMATOLÓGICO. Estação agroclimatológica de Pelotas. 2014. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/boletim.php> acesso:10/03/2015.

BONO, J.A.M.; RODRIGUES A.P.D.C.; MAUAD, M.; ALBUQUERQUE, J.C.; YAMAMOTO C.R.; CHERMOUTH, K.S.; FREITA, M.E. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, v.1, n.2, p.91-102, 2008.

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**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399p.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J.G. de.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de.; MEIRA, F. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clormequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1731-1737, 2006.

CARVALHO, A.J.C.; MARTINS, D.P.; MONNERAT, P.H.; BERNARDO, S.; da SILVA, J.A. Teores de nutrientes foliares no maracujazeiro-amarelo associadas à estação fenológica, adubação potássica e laminas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.23, n.2, p.403-408, 2001.

CARVALHO, N.M. NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 5-90p.

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

CAZETTA, D.A.; FORNAZIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, p. 741-750, 2008.

CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of Australian pine (Pinus nigra) and Paper birch (Betula papyrifera). **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 37, n. 6, p. 278-287, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONAB. (2015). Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2014/15, (2) 4. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2015. < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2015.pdf >. Acesso: 18/04/2015.

CUNHA, G.R. da; PIRES, J.L.F. Sistemas de cultivo para rendimentos elevado em trigo e o desafio das correlações indesejadas. Passo Fundo: Embrapa Trigo,2005. 7 p. (Documento Online 48). Disponível em: <www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bo48.htm>.

DEMIRBAS, A. Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. **Energy Conversion Management**, v.44, p.1481-1486, 2003.

DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**.Viçosa, MG: Suprema, 2009. 408 p.

ESPINDULA, M.C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V. S.; MONNERAT, P.H.; FAVARATO, L.F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 513-520, 2010b.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010a.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, M. A.; SOUZA, L. T.; FAVARATO, L. F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009.

FALQUETO, A.R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de.; OLIVEIRA, A.C. de.; BACARIN, M.A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, v.68, n.3, p.563-571, 2009.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. 2006. Productivity and physiological quality of common bean seeds in function of soil tillage systems and nitrogen fertilization. **Journal of Seed Science**, v.28, n.2, p.102-109.

FIOREZE, S.L.; RODRIGUES, J.D. Componentes produtivos do trigo afetados pela densidade de semeadura e aplicação de regulador vegetal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 39-54, 2014.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral e adubação. In: **Produção de Batata**. Brasília - DF: Linha Gráfica e Editora, 1987. 239 p.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; BARBOSA, J.G.; MIRANDA, G.V. Efeitos do trinexapac-ethyl sobre o crescimento e florescimento da Grama-batatais. **Planta Daninha**, v.20, n.3, p.477-486, 2002.

GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n.3, p. 505–509, 2002.

GRAHAM, D.; SMYDZUC, J. Use of anthrone in the quantitative determination of hexose phosphates. **Analytical Biochemistry**, v.11, p.246-255, 1965.

HAJIHASHEMI, S.; KIAROSTAMI, K.; SABOORA, A.; ENTESHAR, S. Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. **Plant Growth Regul**, v.53, p.117-128, 2007.

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

HOFS, A.; SCHUCH, L.O.; PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 92-97, 2004.

JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; LIMA, A. dos SANTOS; VIEIRA, D. J.; WAZNE, R. Avaliação da fórmula NPK 8-30-20 com adição de gesso agrícola em comparação à adubação convencional para produção de batata (*Solanum tuberosum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v3, n.1, p.111-123, 2010.

KAPPES C.; ARF, O.; ARF, M. V.; de CASTILHO GITTI, D.; ALCALDE, A. M. Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 508-518, 2011.

KERBER, E.; LEYPOLD, G.; SEILER, A. CGA 163’935 a new plant growth regulator for small grain cereals, rape and turf. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – WEEDS. **Proceedings.** Switzerland: Ciba Geigy, 1989. p.83-88.

KLAR, A. E.; DENADAI, I. A. M. Resistência à seca em cultivares de trigo: qualidade e rendimento dos grãos e medições fisiológicas. **Irriga**, v.1, n.1, p.1-25, 1996.

KOCH, K.E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology**, v.47, p.509-540, 1996.

KOLCHINSKI, E.M., SCHUCH, L. O. B. Produtividade e Utilização de Nitrogênio em Aveia em função de Épocas de Aplicação do Nitrogênio. **Agrociência**. v.8, n.2, p.117-121, 2002.

KRZYZANOSWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes. **Informativo ABRATES**, v.11, n.3, p.81-84, 2001.

LANTMANN, A.F.; CASTRO, C.; WIETHOLTER, S. O potássio na cultura do trigo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 723-742.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, v.4, n.1, p.22- 24, 1954.

LI, E.; HASJIM, J.; DHITAL, S.; GODWIN, I.D.; GILBERT, R.G. Effect of a gibberellin-biosynthesis inhibitor treatment on the physicochemical properties of sorghum starch. **Journal of Cereal Science**, v.53, p.328-334, 2011.

LIMA, T.C.; MEDINA, P.F.; FANAN, P. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.57, n.2, p.106-113, 2006.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.3, p. 373-379, 2008.

LOPES, N.F.; LIMA, M.G.DE S. **Fisiologia da produção vegetal.** Viçosa, MG : Ed. UFV, 2015, 492p.

MAGUIRE, L.D. Speed of germination-aid in selection and evolution for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. São Paulo. SP. Ceres. p.40-55. 1989.

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

MARCELIS, L. F. M. Simulation of biomass allocation in greenhouse crops: a review. Acta Horticulturae, v.328, n.1, p.49-68, 1993.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999, p.1-24,

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F**. Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 451p.

MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, v.46, p.133-143, 2006.

MCCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 9, p. 1156-1158, 1950.

MEIRELES, R.C.; SILVA; R.F.; ARAÚJO, E.F. REIS, L.S.; LYRA, G.B.; MARINHO, A.B. Influência do nitrogênio e das lâminas de irrigação na qualidade fisiológica das sementes de mamoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, p.216-221, 2009.

MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.T.; VAN BAVEL, C.H.M. (Eds.). **Physiological aspects of crop yield**. 1. ed. Madison,1969. 89-111p.

MORTVEDT, J.J. et al. (Ed.). **Micronutrients in agriculture.** 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: VIEIRA R.D.; CARVALHO M. (Eds.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal, FUNEP, 1994. p. 49-85.

NAKAYAMA, K.; KOBAYASHI, M.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from imature seeds. **Plant Cell Physiology**, v.31, p.1183-1190, 1190.

NASCIMENTO, V. do; ARF, O.; SILVA, M. G. da; BINOTTI, F. F. da S.; RODRIGUES, R. A. F.; ALVAREZ, R. de C. F. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, v.68, n.4, p.921-929, 2009.

NEVES, L.A.S.; MORAES, D.M.; LOPES, N.F. ABREU, C.M. Vigor de sementes e atividade bioquímica em plantas de arroz submetidas a ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.13, p.79-80, 2007.

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

PAULETTI, V. **Plantio direto: inovação tecnológica.** São Paulo: Fundação Cargil, 1998.

PEDÓ, T.; AUMONDE, T.Z.; LOPES, N.F.; VILLELA, F.A. MAUCH, C.R. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v.29, n.1, p.125-131, 2013.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Plant growth analysis and seed vigor expression: effects of soil waterlogging during rye plant development. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.29, n.1, p.01-07, 2015.

PEDROSO, D. C.; TUNES, L.M.; BARBIERI, A.P.; BARROS, A.C.S.A.; MUNIZ, M.F.B.; MENEZES, V.O. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, v.40, n.11, p.2389-2392, 2010.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S.P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. In: CARVALHO, C.A.L.; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A.C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F. (Org.). **Tópicos em Ciências Agrárias**. 1 ed. Cruz das Almas - BA: Editora Nova Civilização, v. 1, 2009, p. 37-53.

PENCKOWSKI, L. H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.3, p.473-479, 2009.

PENCKOWSKI, L.H.; FERNANDES, E.C. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do trigo: aspectos importantes para garantir bons resultados**. Castro. Fundação ABC, 2010, 3 ed., 68 p.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGUELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**, 3ed, 2012. 573p.

RADEMACHER, W. Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v.51, p.501-531, 2000.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Sciece**, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos.343 p. 1991.

RAJALA, A. **Plant growth regulators to manipulate cereal growth in Northern growing conditions**. 2003. 53 f. Dissertation (Academic) – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, 2003. Disponível em: http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/rajala/plantgro.pdf. Acesso em: 7 jun. 2014.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 856 p.

REDDY, V.R.; REDDY, K.R.; HODGES, H.F. Temperature and mepiquat chloride effects on cotton canopy architecture. **Agronomy Journal**. 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 Sugar Journal**, v. 103, p.2-6, 2001.

RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWWARD, F. C. (Ed). Plantphysiology. New York: **Academic Press**, 1969. p.3-76.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E.S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 18 p. html (Embrapa Trigo. Circular Técnica online; 14). Disponível em: http://www.cntp.embrapa.br/biblio/ci/pci14.htm. Acesso em: 7 jun. 2014.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003.

ROSA FILHO, O. Introdução ao manejo para qualidade industrial em trigo. **Informativo Técnico Biotrigo**, Passo Fundo, v.1, p.01-06, 2010.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L. de.; VILLELA, F.A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.110-119, 2004.

SAWAN, Z.M. Direct and residual effects of plant nutrition’s and plant growth retardants, on cottonseed. **Agricultural Sciences**, v.4, p.66-88, 2013.

SAWAN, Z.M.; FAHMY, A.H.; YOUSEF, S.E. Direct and residual effects of nitrogen fertilization, foliar application of potassium and plant growth retardant on Egyptian cotton growth, seed yield, seed viability and seedling vigor. **Acta Ecologica Sinica**, v.29, p.116-123, 2009.

SILVA, L.C.; BELTERÃO, N.E.M.; AMORIM NETO, M.S**. Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Embrapa Algodão, Campina Grande, 2000. 17p. (Circular Técnica, 34).

SILVA, R. N. DUARTE, G.L.; LOPES, L.F.; MORAES, D.M.; PEREIRA, A.L.A. Composição química de sementes de trigo (Triticum aestivum L.) submetidas a estresse salino na germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 01, p. 215-220, 2008.

SILVA, R.N. DA.; LOPES, N.F.; DUARTE, G.L.; MORAES, D.M. DE.; PEREIRA, A.L.A. Análise de crescimento de plantas de *Hordeum vulgare* L. submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.4, p.455-463, 2007.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F.; CAETANO, V. R.; OLIVEIRA, A. C.; CIMBRA, J. L. M.; VASCONCELLOS, N. J. S.; LORENCETTI, C. Genetic basis of stay-green trait in bread wheat. **Journal of New Seeds**, v.2, p.55-68, 2000.

SLEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops.** Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006. 424 p.

SOUZA, C. A. FIGUEIREDO, B.P.; COELHO, C.M.M.; CASA, R.T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade de soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v.19, n.3, p.634-643, 2013.

STACHECKI, S.; PRACZYK, T.; PRACZYK, K. Adjuvant effects on plant growth regulators in winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, v.44, n.4, p.365-371, 2004.

STRASSBURGER, A.S.; PEIL, R.M.N.; FONSECA, L.A.; AUMONDE, T.Z.; MAUCH, C.R. Dinâmica do crescimento da abobrinha italiana em duas estações de cultivo. **Acta Scientiarum**, v.33, p.283-289, 2011.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 222p, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.8, p.797-804, 2010.

TOLEDO, M.Z.; FONSECA, N.R.; CESAR, M.L.; SORATTO, R.P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C.A.C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.124-133, 2009.

VIANA, R. S.; SILVA, P. H.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; GUIMARÃES, E. R.; BENTO, M. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, n.1, p.65-71, 2008.

VIEIRA, C. Cultivos consorciados. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2 ed., Viçosa: UFV, 2006. p. 493 - 528.

VIEIRA, R.D. & KRZYZANOWSKI, F.C. 1999. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. & FRANÇA-NETO, J.B.F. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina : ABRATES. 218p.

WIETHOLTER, S. Fósforo no solo e a cultura do trigo. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da potassa e do fosfato; Instituto internacional da potassa, Piracicaba, 2004. p. 726.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of aminoacid with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

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**, v.25, n.2, p.331-339, 2007.

ZAGONEL, J.; FERREIRA, C. Doses e épocas de aplicação de regulador de crescimento em híbridos de milho. **Planta Daninha**, v.31, n.2, p.395-402, 2013.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMAT, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v.32, p.25-29, 2002.