

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.7, n.1, p.89-96, jan.-mar., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i1a1594

Protocolo 1594 – 22/05/2011 *Aprovado em 07/09/2011

Samuel L. Fioreze¹

João D. Rodrigues²

Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiológicos da folha bandeira do trigo

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar as características morfofisiológicas da folha bandeira do trigo em densidades crescentes de semeadura sob aplicação de reguladores vegetais. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro densidades de semeadura (30, 50, 70 e 90 plantas m⁻²), enquanto as subparcelas foram constituídas pela aplicação de reguladores vegetais, sendo um produto comercial composto por auxina+giberelina+citocinina (Ax+GA+CK), Etil-Trinexapac e a combinação dos dois produtos, além de uma testemunha sem a aplicação. Foram determinados o acúmulo de matéria seca total e a altura de plantas, as características morfológicas, o índice SPAD e os teores de nitrogênio e pigmentos fotossintéticos da folha bandeira. O aumento da densidade de semeadura resultou em diminuição no acúmulo de matéria seca e no índice SPAD da folha bandeira. A aplicação de Etil-Trinexapac resultou em aumento no índice SPAD da folha bandeira, estando os valores mais correlacionados com os teores de nitrogênio foliar do que com os teores de clorofila, que apresentaram redução em função da aplicação do regulador. A aplicação de Ax+GA+CK não afetou o desenvolvimento da folha bandeira de plantas de trigo.

Palavras-chave: Auxina, citocinina, clorofila, Etil-Trinexapac, giberelina, nitrogênio, SPAD.

Effects of sowing density and plant growth regulators on the morphological and physiological characteristics of the wheat flag leaf

ABSTRACT

The objective of this work was to study the morphological and physiological characteristics of the wheat flag leaf as affected by increasing sowing densities and plant growth regulators application. The experimental design was a split-plot with completely randomized blocks and four replications. Plots were consisted by four sowing densities (30, 50 70 and 90 plants m⁻²) and the split-plots by plant growth regulators: a product composed by auxin+gibberellin+cytokinin (Ax+GA+CK), Trinexapac-Ethyl e (Ax+GA+CK) + Trinexapac-Ethyl, and a control without application. Dry mass accumulation, plant height, morphological characteristics, SPAD index, nitrogen and photosynthetic pigments contents in the flag leaf were determined. The increase in the sowing density resulted in lower dry mass accumulation and SPAD index of the flag leaves. Trinexapac-Ethyl caused increase in the SPAD index, but the chlorophyll content of the flag leaf was reduced. The SPAD index values were more correlated with the nitrogen than the chlorophyll contents. Ax+GA+CK did not affect flag leaf characteristics in wheat plants.

Key words: Auxin, cytokinin, chlorophyll, Trinexapac-Ethyl, gibberellin, nitrogen, SPAD index.

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Departamento de Produção Vegetal, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Experimental Lageado, s/n, CEP 18603-970, Botucatu-SP, Brasil. Caixa Postal 237. Fone: (14) 3811-7161. Fax: (14) 3811-7211. E-mail: slfioreze@fca.unesp.br

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Distrito de Rubião Júnior, s/n, CEP 18618-970, Botucatu-SP, Brasil. Fone: (14) 3811-6265. Fax: (14) 3815-3744. E-mail: mingo@ibb.unesp.br

INTRODUÇÃO

O potencial produtivo é uma característica quantitativa complexa, relacionada à habilidade da planta de produzir, translocar e estocar carboidratos nos grãos (Sleeper & Poehlman, 2006). Por muitos anos, grande parte do aumento da produtividade de trigo esteve associada ao incremento da partição de massa seca para os grãos, enquanto a biomassa da parte aérea não foi modificada (Calderini et al., 1995; Sayre et al., 1997). Em adição, fatores determinantes na produção de biomassa, especialmente a eficiência do uso da radiação, permaneceram praticamente inalterados (Calderini et al., 1997; Fischer et al., 1998).

A folha bandeira é considerada a fonte primária para o enchimento de grãos, devido à curta distância da espiga e ao fato de ela se manter verde por mais tempo do que as demais folhas da planta. Os produtos da fotossíntese elaborados nas folhas situadas na porção superior do colmo (principalmente na folha bandeira) e nas aristas são responsáveis pela maior parte da produção (Domiciano et al., 2009). Contudo, reservas do colmo acumuladas na planta até a pré-antese estão sendo crescentemente reconhecidas como importantes fontes de carbono para o enchimento do grão quando a fotossíntese é inibida por estresse hídrico, por calor ou por doenças. A participação das reservas do colmo e dos assimilados produzidos na folha bandeira ocorrem em proporções variadas em materiais de trigo, sendo de grande importância para a produção de grãos, principalmente em regiões sujeitas à ocorrência de déficit hídrico (Inoue et al., 2004).

A densidade de semeadura é um fator limitante para a captação de recursos pelas plantas (Lloveras, et al., 2004). Variações na densidade de plantas de trigo no ambiente de cultivo apresentam efeitos diretos na produtividade da cultura, através de alterações nos principais componentes da produção (Ozturk, et al., 2006). O acúmulo e exportação de assimilados para os grãos é dependente da capacidade de cada genótipo de competir pelos fatores do meio, ajustando seus componentes de produção com maior ou menor eficiência (Valério et al., 2009). A densidade de semeadura pode, portanto, afetar a produção final da cultura através dos seus efeitos na emissão e sobrevivência de perfilhos e na capacidade de adaptar sua estrutura em termos de arquitetura de plantas, a fim de manter a eficiência na utilização da radiação, principalmente pela folha bandeira, sendo estas características claramente afetadas pelo balanço hormonal da planta (Wang & Li, 2008).

Os efeitos fisiológicos de reguladores vegetais têm sido estudados visando o avanço no conhecimento da ação estimulatória ou inibitória no crescimento e desenvolvimento das plantas (Martins & Castro, 1999). De maneira geral, estes produtos são compostos por um ou pela combinação de alguns reguladores, principalmente auxinas (Ax), giberelinas (GA) e citocininas (CK), ou até mesmo por substâncias capazes de inibir a síntese ou a atividade de algum grupo hormonal. Desta forma, caracteres morfofisiológicos de plantas podem ser modificados por práticas de manejo diferenciadas, a fim de otimizar a síntese de redistribuição de assimilados em plantas de interesse agrônomo.

Considerando a importância da participação da folha bandeira para a produtividade da cultura do trigo, o presente trabalho teve por objetivo estudar as características morfofisiológicas da folha bandeira do trigo em densidades crescentes de semeadura sob aplicação de reguladores vegetais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de abril a agosto de 2010 em Botucatu-SP, (22°49' S e 48°25' W com altitude de 770 m). A área experimental apresentava um nitossolo vermelho, de textura argilosa (Embrapa, 2006), com as seguintes características físico-químicas: 420,0 g kg⁻¹ de argila; 21,0 g dm⁻³ de matéria orgânica; pH (CaCl) 5,8; 53,0 cmol_c dm⁻³ de Ca; 28,0 cmol_c dm⁻³ de Mg; 1,0 cmol_c dm⁻³ de Al; 2,7 cmol_c dm⁻³ de K; 33,0 mg dm⁻³ de P (resina) e saturação por bases de 74%.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro densidades de semeadura (30, 50, 70 e 90 plantas por metro), enquanto as subparcelas foram constituídas pela aplicação de reguladores vegetais, sendo um produto comercial composto por auxina+giberelina+citocinina (Ax+GA+CK), Etil-Trinexapac e a combinação dos dois produtos, além de uma testemunha sem a aplicação, totalizando 64 unidades experimentais.

Cada unidade experimental (subparcela) foi formada por 13 linhas de semeadura espaçadas 0,17 m entre si e com 10 m de comprimento, totalizando 20,4 m². Foram descartados 1,0 m em cada extremidade e três linhas de cada lado da subparcela para se obter uma parcela útil de 9,18 m². O experimento foi implantado em sistema de semeadura direta, tendo como cultura antecessora a soja. A cultivar de trigo utilizada foi a IAC 370, com porte médio e boa adaptabilidade para as condições regionais de cultivo (COODETEC, 2010). As densidades de semeadura utilizadas foram ajustadas através do resultado do teste de germinação em laboratório, tendo-se 38, 63, 88 e 113 sementes por metro como as densidades finais. A semeadura foi realizada de maneira mecanizada com uma semeadora de fluxo contínuo, a uma profundidade de 4 cm.

A aplicação do regulador vegetal Ax+GA+CK (Stimulate®) foi realizada no início da fase de perfilhamento (14 dias após a emergência), na dose de 500 mL ha⁻¹ (p.c.) (0,005% de ácido indolilbutírico, 0,005% de ácido giberélico e 0,009% de cinetina) enquanto o Etil-Trinexapac (Moddus®) foi aplicado na dose de 400 mL ha⁻¹ (p.c.) (250 g L⁻¹ de Etil-Trinexapac) na fase do primeiro nó visível do colmo principal (60 dias após a emergência) que corresponderam aos estádios 2 e 6 da escala de Feeks (Large, 1954), respectivamente. Ambos os produtos foram aplicados via pulverização foliar utilizando-se pulverizador de barras com pressão de CO₂ e bicos do tipo leque (110-02) ajustado para um volume de calda de 150 L ha⁻¹.

A adubação de base foi realizada com 160 kg ha⁻¹ do adubo formulado 08-28-16 (NPK). A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio (sulfato de amônio) e 30 kg ha⁻¹ de potássio (KCl), aplicados no início da fase de perfilhamento da cultura, e 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio

(sulfato de amônio) no final da fase de perfilhamento, que corresponderam aos estádios 2 e 5 da escala de Feeks (Large, 1954). A disponibilidade de água no solo foi monitorada através de uma bateria de tensiômetros de mercúrio, instalados a 20 cm de profundidade, irrigando-se quando a coluna de mercúrio atingia 40 cm de altura. O somatório do acumulado de chuvas e da lâmina total de irrigação durante o ciclo da cultura foi de 315 mm, considerado um valor adequado para as exigências da cultura (COODETEC, 2010).

No início do período reprodutivo da cultura (antese), determinou-se o acúmulo de matéria seca total de plantas. No início da fase de desenvolvimento de grãos, foram determinadas a altura de plantas, em três pontos por parcela, e as características morfológicas da folha bandeira. Para tanto, foram coletadas 15 folhas bandeira do colmo principal de cada parcela. Após a coleta, foram determinados o comprimento, a área foliar e a massa de matéria seca de folhas e, em seguida, calcularam-se a largura média de folhas e a área foliar específica (área foliar/massa da matéria seca).

A coleta de material vegetal para a determinação do teor de nitrogênio (N) e dos pigmentos fotossintéticos foi realizada no início da fase reprodutiva. Foram coletadas folhas bandeira do colmo principal de 15 plantas de trigo por parcela. No momento da coleta do material vegetal foram realizadas leituras do índice relativo de clorofila (índice SPAD) em cinco pontos por folha, utilizando-se um clorofilômetro manual (Minolta SPAD-502). Após a coleta, cada folha foi dividida em duas partes iguais na região da nervura central, sendo que, para a determinação dos pigmentos fotossintéticos, o material foi embrulhado em papel alumínio e submetido a congelamento instantâneo em nitrogênio líquido (-196°C) e armazenado em ultrafreezer a -80°C, enquanto que, para a determinação do teor de N, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 50°C, até massa constante. A metodologia utilizada para a determinação dos pigmentos fotossintéticos foi a descrita por Sims & Gamon (2002), pela qual se determinaram os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides totais e antocianinas. A determinação do teor de N total nas folhas foi realizada utilizando-se o método de Kjeldahl.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando detectadas variações significativas, as médias foram submetidas à análise de regressão para as densidades de semeaduras, e contrastadas pelo teste de

Tukey ($p < 0,05$) para os reguladores vegetais. A análise de correlação de Pearson entre as características fisiológicas da folha bandeira foi realizada utilizando-se o programa computacional Minitab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade de semeadura, bem como a aplicação dos reguladores vegetais, provocou alterações morfofisiológicas significativas em plantas de trigo. A densidade de semeadura afetou o acúmulo de matéria seca total e o acúmulo de matéria seca da folha bandeira, enquanto a aplicação de reguladores afetou somente o desenvolvimento da folha bandeira e a altura de plantas (Tabela 1). A interação entre o aumento da densidade de plantas e a aplicação de reguladores vegetais foi verificada para o teor de nitrogênio foliar e o índice SPAD. Os teores de clorofila *b*, a relação clorofilas *a/b* e as antocianinas não foram alterados pelos tratamentos estudados (Tabela 2).

O acúmulo de matéria seca em plantas de trigo foi afetado significativamente pela densidade de cultivo (Figura 1). O aumento do número de plantas na linha de cultivo resultou

Tabela 1. Resumo da análise de variância (valores de F) para altura (ALT) e matéria seca total por planta (MST), comprimento (CFB), área foliar (AFB), massa de matéria seca (MSFB), área foliar específica (AFEFB) e largura (LFB) da folha bandeira em plantas de trigo. Botucatu-SP, 2010

Table 1. Summary of the variance analysis (F values) for plant height (ALT), plant dry matter (MST), length (CFB), leaf area (AFB), dry matter weight (MSFB), specific leaf area (AFEFB) and width (LFB) of the flag leaf in wheat plants. Botucatu (SP), Brazil, 2010

FV	ALT	MST	CFB	AFB	MSFB	AFEFB	LFB
Bloco	2,11 ^{ns}	0,62 ^{ns}	3,48 ^{ns}	1,92 ^{ns}	7,75**	3,14 ^{ns}	1,56 ^{ns}
Densidades (D)	0,49 ^{ns}	88,12**	1,11 ^{ns}	2,72 ^{ns}	10,48**	2,38 ^{ns}	3,10 ^{ns}
Reguladores (R)	166,32**	0,76 ^{ns}	18,18**	5,14**	6,01**	0,27 ^{ns}	0,72 ^{ns}
D X R	1,02 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,27 ^{ns}
CV (%) 1	7,02	20,16	6,65	10,82	8,27	7,29	6,33
CV (%) 2	3,45	18,32	7,21	12,25	10,92	7,00	10,70

* e **: significativo pelo teste F a 5 e 1%, respectivamente; ^{ns}não significativo; ¹coeficiente de variação para parcela; ²coeficiente de variação para subparcela.

Tabela 2. Análise de variância (valores de F) para teores de nitrogênio foliar (N foliar), índice SPAD, teores foliares de clorofila *a* (Cl*a*) e clorofila *b* (Cl*b*), relação entre clorofilas *a/b* (Cl*a/Clb*), teor total de clorofila (Cl *a+b*), carotenóides (Car) e antocianinas (Ant) da folha bandeira de plantas de trigo. Botucatu-SP, 2010

Table 2. Variance analysis (F values) for leaf nitrogen contents (N foliar), SPAD index (SPAD), chlorophyll *a* contents (Cl*a*) and chlorophyll *b* (Cl*b*), chlorophyll *a/b* ratio (Cl*a/Clb*), total chlorophyll content (Cl *a+b*), carotenoids (Car) and anthocyanins (Ant) of the flag leaf in wheat plants. Botucatu (SP), Brazil, 2010

FV	N foliar	SPAD	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl <i>a/b</i>	Cl <i>a+b</i>	Car	Ant
Bloco	9,11**	2,5 ^{ns}	1,72 ^{ns}	56,63**	139,07**	6,68**	0,26 ^{ns}	39,25**
Densidades (D)	0,18 ^{ns}	4,34*	0,32 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Regulador (R)	3,03*	15,55**	5,70**	2,01 ^{ns}	2,07 ^{ns}	4,38**	3,66*	1,27 ^{ns}
D X R	2,33*	2,59*	0,46 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,76 ^{ns}
CV (%) ¹	7,03	4,06	22,95	16,61	7,71	20,02	13,88	28,89
CV (%) ²	6,86	2,85	10,12	16,35	6,49	10,45	8,95	28,67

* e **: significativo pelo teste F a 5 e 1%, respectivamente; ^{ns}não significativo; ¹coeficiente de variação para parcela; ²coeficiente de variação para subparcela

em decréscimo nos valores de matéria seca total de plantas, sendo os menores valores observados para as menores densidades de semeadura. Neste caso, o efeito da competição entre plantas em maiores densidades, em função da diminuição na qualidade da luz e da competição por água e nutrientes, ocorre em função da reduzida taxa de emissão de perfilhos (Almeida & Mundstock, 2001) e da diminuição no diâmetro de colmos (Santos & Mundstock, 2002), que apresentam relação direta com a produtividade final da cultura.

O aumento no número de plantas na linha de cultivo resultou em decréscimo no acúmulo de matéria seca na folha bandeira de plantas de trigo (Figura 2). A competição entre plantas em resposta ao aumento na densidade de cultivo tem reflexo no desenvolvimento foliar da planta como um todo, inclusive da folha bandeira, que é a folha fisiologicamente mais importante, por apresentar maior exposição à luz solar, sem prejuízos causados pelo autosombreamento. O decréscimo no acúmulo de matéria seca na folha bandeira pode resultar em prejuízos ao desenvolvimento de grãos, considerando-se que este processo depende basicamente da quantidade de carboidratos acumulados no colmo até a antese e da taxa de assimilação de carbono na fase de pós-antese (Simmons, 1987).

A aplicação de Etil-Trinexapac resultou em decréscimo significativo no desenvolvimento da folha bandeira de plantas de trigo (Tabela 3). Além dos efeitos significativos no alongamento de colmos (altura de plantas), o efeito prolongado da atividade do Etil-Trinexapac em inibir a atividade endógena de GA pode ser verificado na morfologia da folha bandeira. A aplicação de Etil-Trinexapac, de maneira isolada ou combinada com Ax+GA+CK, provocou diminuição no crescimento do comprimento da folha bandeira, sem afetar

a área foliar. Diferenças no acúmulo de assimilados na folha bandeira foram observadas entre plantas tratadas com Etil-Trinexapac e Ax+GA+CK, com o controle apresentando valores intermediários. Redução no desenvolvimento da folha bandeira de plantas de trigo tratadas com Etil-Trinexapac foi observada por Espindula et al. (2009). Os autores observaram redução nos valores de área foliar, sem alterações no acúmulo de matéria seca. Contudo, os resultados observados não permitem observar se a redução de área foliar ocorreu em função da diminuição do comprimento ou da largura da folha. O equilíbrio entre os níveis endógenos de Ax e GA é de grande importância para o alongamento celular, pois atuam de maneira conjunta no aumento da extensibilidade da parede celular, bem como na síntese ativação de enzimas que atuam na reconstrução da parede celular (Taiz & Zeiger, 2009). Neste caso, a inibição da biossíntese de GA afetou o crescimento da folha em comprimento, porém, o crescimento em largura não foi afetado (Tabela 1).

No presente estudo, foi possível observar que nos horários mais quentes do dia (próximo ao meio dia), as plantas tratadas com Etil-Trinexapac apresentavam as folhas bandeira em uma posição mais ereta em relação às folhas de plantas do tratamento controle ou tratadas com Ax+GA+CK, nas quais as folhas se encontravam prostradas. Esse comportamento pode estar relacionado à redução do comprimento das folhas, mas também pode estar relacionado a alterações na morfologia da lígula da folha, que pode interferir no movimento da folha em função de variações ambientais. Neste caso, é possível que uma alteração morfológica provocada pela aplicação de Etil-Trinexapac esteja relacionada com o aumento da eficiência fisiológica em resposta a estímulos ambientais. Alterações na orientação azimutal das folhas podem resultar em aumento na

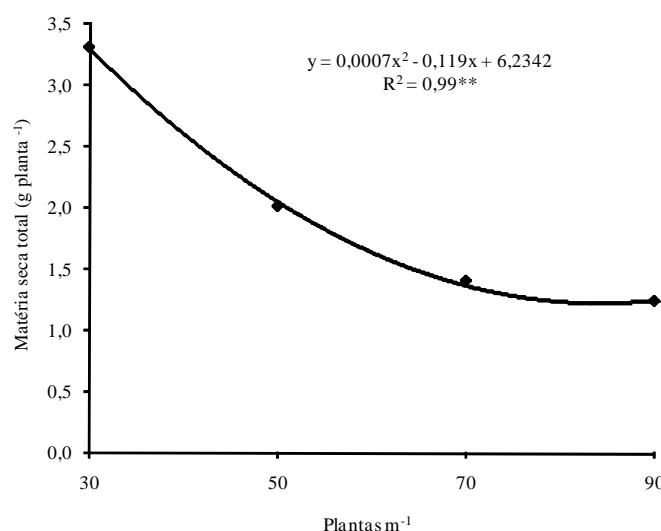


Figura 1. Acúmulo de matéria seca total por planta na fase de antese em densidades crescentes de plantas de trigo (IAC 370). Botucatu (SP), 2010. ** Significativo pelo teste F ($p < 0,01$)

Figure 1. Total dry matter accumulation per plant on the anthesis stage in increasing doses of wheat plants (IAC 370) as affected by sowing density. Botucatu (SP), Brazil, 2010. **Significant by F test ($p < 0.01$)

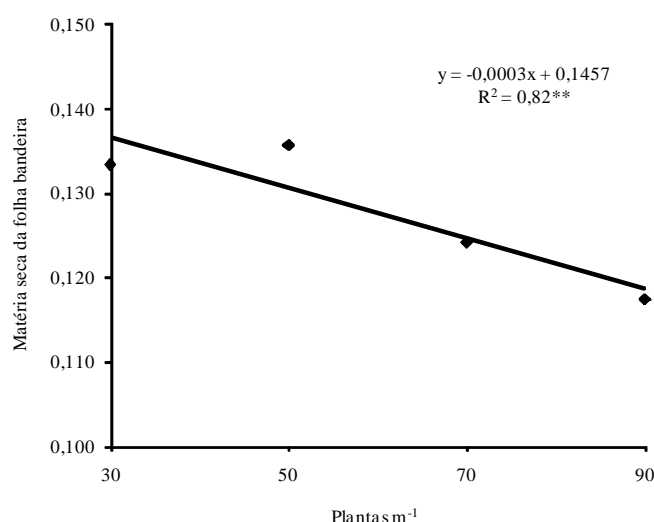


Figura 2. Matéria seca da folha bandeira em densidades crescentes de plantas de trigo (IAC 370). Botucatu (SP), 2010. ** Significativo pelo teste F ($p < 0,01$)

Figure 2. Dry matter of the flag leaves in increasing doses of wheat plants (IAC 370) as affected by sowing density. Botucatu (SP), Brazil, 2010. **Significant by F test ($p < 0.01$)

Tabela 3. Altura de plantas (ALT), comprimento (COMP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MS) da folha bandeira de plantas de trigo (IAC 370) em função da aplicação de Ax+CK+GA e de Etil-Trinexapac, Botucatu (SP), 2010

Table 3. Plant height (ALT), length (COMP), leaf area (AF) and dry matter weight (MS) of the wheat flag leaf (IAC 370) as affected by Ax+CK+GA and Trinexapac-Ethyl application. Botucatu (SP), Brazil, 2010

Regulador	ALT (cm)	COMP (cm)	AF (cm ²)	MS (g folha ⁻¹)
Controle	80,7 a	22,69 a	25,82 ab	0,1347 ab
Ax+GA+CK (S)	79,1 a	22,00 a	26,18 a	0,1353 a
Etil-Trinexapac (M)	65,3 b	19,39 b	23,13 b	0,1216 bc
S + M	66,4 b	19,83 b	22,99 b	0,1191 c
dms	4,8	1,44	2,86	0,013

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

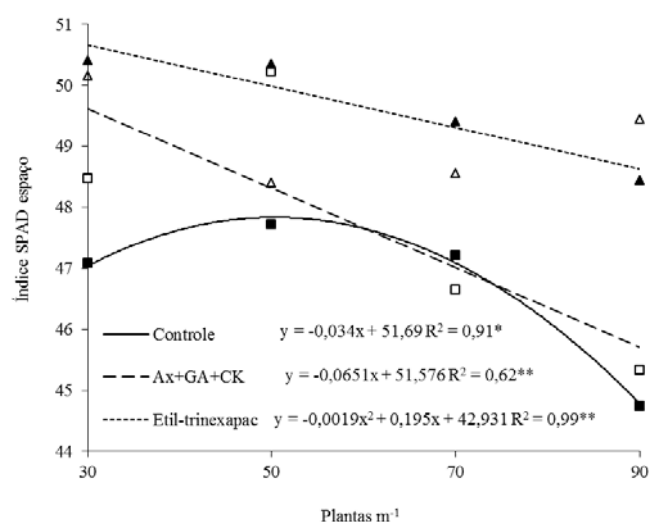


Figura 3. Índice SPAD da folha bandeira para densidades crescentes de plantas de trigo (IAC 370) em função da aplicação de reguladores vegetais Botucatu (SP), 2010. ** Significativo pelo teste F ($p < 0,01$)

Figure 3. SPAD index of the flag leaf as affected by sowing density and plant growth regulators application in wheat (IAC 370). Botucatu (SP), Brazil, 2010. **Significant by F test ($p < 0.01$)

eficiência fotossintética da planta, pela diminuição das perdas por fotoinibição nos horários de maior irradiação solar. Esta característica pode se tornar importante na redução das perdas de água por transpiração, aumentando a eficiência da utilização da água, principalmente em condições de déficit hídrico.

A aplicação de Etil-Trinexapac provocou redução significativa nos teores de clorofila *a*, clorofila total e de carotenóides (Tabela 5). A aplicação combinada de Etil-Trinexapac e Ax+GA+CK apresentou comportamento intermediário para estas características, apresentando o mesmo comportamento da aplicação isolada de Etil-Trinexapac apenas para os teores de clorofila *a*.

A intensidade da coloração verde da folha bandeira em plantas de trigo decresceu em função do aumento da densidade de semeadura, principalmente para os tratamentos controle e Ax+GA+CK (Figura 3). Para o efeito combinado entre a aplicação de Ax+GA+CK e Etil-Trinexapac não houve variações significativas na intensidade da coloração verde da folha bandeira entre as densidades de semeadura testadas (sem ajuste significativo). A competição entre plantas de uma comunidade aumenta em função do aumento na densidade de plantas. Essa competição é mais intensificada em fases de desenvolvimento, quando a necessidade de fatores do meio é máxima, como na antese. Portanto, a redução do índice SPAD com o aumento do número de plantas é um reflexo claro da competição entre plantas.

A aplicação de Etil-Trinexapac, de maneira isolada ou combinada com Ax+GA+CK, resultou em aumento na intensidade da coloração verde em plantas de trigo para as densidades de planta estudadas (Tabela 4). A competição entre plantas em maiores densidades de cultivo resultou em menor acúmulo de matéria seca por planta, conforme observado na Figura 1. Por outro lado, o aumento da densidade de plantas não teve efeito sobre a altura de plantas, resultado observado

Tabela 4. Índice SPAD da folha bandeira em função da aplicação de reguladores vegetais em densidades crescentes de plantas de trigo (IAC 370). Botucatu (SP), 2010

Table 4. SPAD index of the flag leaf as affected by sowing density and plant growth regulators application in wheat (IAC 370). Botucatu (SP), Brazil, 2010

	Plantas m ⁻¹			
	30	50	70	90
Controle	47,08 b	47,73 b	47,20 ab	44,75 b
Ax+GA+CK (S)	48,48 ab	50,26 ab	46,65 b	45,33 b
Etil-Trinexapac (M)	50,40 a	50,35 a	49,40 a	48,45 a
S + M	50,15 a	48,40 ab	48,55 ab	49,45 a
dms	2,62			

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 5. Teores foliares de clorofila *a* (cla), clorofila total (Cl *a+b*) e carotenóides (Car) em plantas de trigo (IAC 370) em função da aplicação de Ax+CK+GA e de Etil-Trinexapac, Botucatu (SP), 2010

Table 5. Chlorophyll *a* (cla), total chlorophyll (Cl *a+b*) and Carotenoid (Car) leaf contents in wheat plants (IAC 370) as affected by Ax+CK+GA and Trinexapac-Ethyl application. Botucatu (SP), Brazil, 2010

Regulador	Cl <i>a</i> (ug g ⁻¹)	Cl <i>a+b</i> (ug g ⁻¹)	Car (ug g ⁻¹)
Controle	1758,83 a	2544,59 a	535,42 a
Ax+GA+CK (S)	1682,08 ab	2445,52 ab	522,22 ab
Etil-Trinexapac (M)	1546,40 b	2237,88 b	483,76 b
S + M	1570,72 b	2352,20 ab	510,71 ab
dms	158,09	238,33	43,73

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

apenas para a aplicação de Etil-Trinexapac (Tabela 3). Portanto, plantas com o mesmo acúmulo de matéria seca (mesma densidade) e com redução nos valores de altura tornam-se mais compactas, fato que pode estar relacionado à maior concentração de metabólitos de maneira geral, como carboidratos, proteínas e nutrientes. Este comportamento pode, então, estar associado ao aumento do índice SPAD nessas condições de cultivo.

A densidade de semeadura não afetou o acúmulo de nitrogênio na folha bandeira de folhas de trigo. O teor foliar de nitrogênio foi afetado pelos reguladores vegetais apenas na densidade de 70 plantas m^{-1} (Tabela 6), sendo que os maiores valores foram observados em plantas tratadas com Etil-Trinexapac, diferindo significativamente apenas dos observados para a aplicação de Ax+GA+CK. Espindula et al. (2009) relatam que o aumento no índice SPAD em folhas de trigo tratadas com Etil-Trinexapac pode ocorrer em função do aumento no teor de clorofila por unidade de área ou volume da folha. Contudo, os resultados apresentados no presente estudo revelam que o aumento de intensidade de coloração verde em folhas tratadas com Etil-Trinexapac parece estar mais relacionado com o teor de nitrogênio do que com os teores de clorofila.

Alguns pesquisadores têm demonstrado a existência de relação entre o índice de esverdeamento e teor de clorofila na folha (Dwyer et al., 1995) e sua utilização na recomendação da adubação nitrogenada em cereais (Sena Júnior et al., 2008). Os resultados obtidos no presente estudo revelam que o aumento da intensidade de coloração verde (índice SPAD), em decorrência da aplicação de Etil-Trinexapac, está mais associado ao teor de nitrogênio foliar do que ao teor de clorofila da folha bandeira (Tabela 7), contrapondo os resultados encontrados na literatura. De acordo com a análise de correlação de Pearson, os valores de índice SPAD apresentaram correlação positiva com os valores de nitrogênio total na folha bandeira no período de antese. Para os demais caracteres fisiológicos, não houve correlações significativas, exceto para as relações entre pigmentos, que já era esperado. O fato de as determinações dos índices fisiológicos terem sido realizadas nos mesmos pontos de coleta aumenta o grau de confiabilidade nos resultados obtidos, no entanto, existe a possibilidade de que estas relações possam ser alteradas de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura por se tratar de um grupo de características altamente dinâmicas no metabolismo da planta.

A metodologia utilizada para prever a necessidade de adubação suplementar de N em cereais, através do teor de clorofila avaliado em um medidor portátil, baseia-se na criação de variabilidade no início do desenvolvimento das culturas (Argenta et al., 2001). Em trigo, Fox et al. (1994) constataram que a resposta ao fertilizante nitrogenado foi incorretamente predita em 20% e 4% dos tratamentos, respectivamente, quando se utilizaram valores críticos de concentração de nitrogênio e leitura SPAD. Estes resultados indicam que a leitura SPAD é um parâmetro que melhor prediz a necessidade de nitrogênio, ao invés de o teor de nitrogênio (Argenta et al., 2001), o que reflete o baixo valor de correlação, apesar de significativa, entre o

Tabela 6. Teor de nitrogênio da folha bandeira em função da aplicação de reguladores vegetais em densidades crescentes de plantas de trigo (IAC 370). Botucatu (SP), 2010

Table 6. Nitrogen content of the flag leaf as affected by sowing density and plant growth regulators application in wheat (IAC 370). Botucatu (SP), Brazil, 2010

	Plantas m^{-1}			
	30	50	70	90
Controle	36,1 a	37,3 a	39,3 a	36,3 a
Ax+GA+CK (S)	35,9 a	38,9 a	33,2 b	37,8 a
Etil-Trinexapac (M)	39,7 a	39,5 a	40,5 a	37,8 a
S + M	38,9 a	36,4 a	36,7 ab	38,8 a
dms	4,92			

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Análise de correlação de Pearson para as características fisiológicas da folha bandeira de plantas de trigo, Botucatu (SP), 2010

Table 7. Pearson correlation analysis for the physiological characteristics of the wheat flag leaf. Botucatu (SP), Brazil, 2010

	N foliar ¹	SPAD	Cl a	Cl b	Cl a/b
SPAD	0,46**				
Cl a ³	-0,04	-0,11			
Cl b ⁴	0,23	0,11	0,63**		
Cl a/b ⁵	-0,34	-0,24	-0,32	-0,91**	
Cl a+b	0,10	-0,00	0,90**	0,90**	-0,67**

**Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ¹ teor de nitrogênio foliar; ² índice SPAD; ³ teor de clorofila a; ⁴ teor de clorofila b; ⁵ relação clorofila a/b.

teor de nitrogênio e o índice SPAD observadas no presente estudo (Tabela 7).

No presente estudo é demonstrado que o índice SPAD apresenta correlação positiva significativa (mesmo que baixa) com os teores de nitrogênio da folha bandeira em plantas de trigo no início da fase de enchimento de grãos. A determinação de nitrogênio é de grande importância para o estudo do estado fisiológico de plantas de trigo no início da formação de grãos, uma vez que os teores de nitrogênio estão altamente relacionados com a produtividade de grãos e com o teor de nitrogênio em grãos de trigo (Tahir & Nakata, 2005). A utilização do índice SPAD foi eficiente para a determinação do teor de nitrogênio em folhas de trigo nos resultados apresentados por Viana & Kiehl, (2010). Correlações positivas entre as duas variáveis foram observadas também por Debaeke et al. (2006), independente do ano de cultivo, cultivar e ano, e por Cammarano et al. (2011) em plantas no período de antese e enchimento de grãos. O acúmulo de nitrogênio na fase de antese é de grande importância para a produtividade da cultura do trigo, estando altamente correlacionado com o teor de proteína nos grãos e com a produtividade (Debaeke et al., 1996; Hoel, 1998), principalmente quando o nitrogênio é um fator determinante para o cultivo (Debaeke et al., 2006).

CONCLUSÕES

A aplicação de Ax+CK+GA no início da fase de perfilhamento não afeta as características morfofisiológicas da folha bandeira de plantas de trigo;

A aplicação de Etil-Trinexapac no início da fase de alongamento resulta em redução no comprimento e no teor de clorofila da folha bandeira de plantas de trigo, com o aumento do índice SPAD da folha;

O aumento na densidade de cultivo afeta negativamente o acúmulo de matéria seca total de plantas e o acúmulo de matéria seca e índice SPAD de trigo da folha bandeira;

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro para a realização do projeto.

LITERATURA CITADA

- Almeida, M.L.; Mundstock, C.M.A qualidade da luz afeta o afilamento em plantas de trigo, quando cultivadas sob competição. *Ciência Rural*, v.31, n.3, p.401- 408, 2001. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v31n3/a06v31n3.pdf>>. doi:10.1590/S0103-84782001000300006. 27 Mar. 2011.
- Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Bortolini, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v31n4/a27v31n4.pdf>>. doi:10.1590/S0103-847820010004000 27. 22 Mar. 2011.
- Calderini, D.F.; Dreccer, M.F.; Slafer, G.A. Consequences of plant breeding on biomass growth, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crops Research*, v.52, n.3, p.271-281, 1997. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842909603465X>>. doi:10.1016/S0378-4290(96)03465-X. 12 Mar. 2011.
- Calderini, D.F.; Dreccer, M.F.; Slafer, G.A. Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A reexamination of previous results and the latest trends. *Plant Breeding*, v.114, n.2, p.108-112, 1995. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00772.x/abstract>>. doi:10.1111/j.1439-0523.1995.tb00772.x. 11 Mar. 2011.
- Cammarano, D.A.F.G.; Fitzgerald, G. B.; Basso, B.C.E.; Grace, P.D.E.; O'Leary, G.B.; Chen, B.A. Remote estimation of chlorophyll on two wheat cultivars in two rainfed environments. *Crop & Pasture Science*, v. 62, n.4. 269-275, 2011. <<http://www.publish.csiro.au/paper/CP10100>>. doi:10.1071/CP10100. 23 Abr. 2011.
- Debaeke, P.; Aussenac, T.; Fabre, J. L.; Hilaire, A.; Pujol, B.; Thuriès L. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *European Journal of Agronomy* v.5, n.3-4, p. 273-286, 1996. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030196020382>>. doi:10.1016/S1161-0301(96)02038-2. 25 Mar. 2011.
- Debaeke, P.; Rouet, P.; Justes, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, v.29, n.1, p.75-92, 2006. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160500416471>>. doi:10.1080/01904160500416471. 18 Jan. 2011.
- Domiciano, G.P.; Resende, R.S.; Rodrigues, F.A.; Damatta, F.M. Alterações na fotossíntese de plantas infectadas por fitopatógenos. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, v.17, p.305-339, 2009.
- Dwyer, L.M., et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. *Canadian Journal of Plant Science*, v.75, n.1, p.179-182, 1995. <<http://pubs.aic.ca/doi/abs/10.4141/cjps95-030>>. doi:10.4141/cjps95-030. 08 Mar. 2011.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EmbrapaSPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306p.
- Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale - COODETEC. Informações técnicas para trigo e triticale safra 2011. In: Marchioro, V. S.; Franco, F. de A. (Orgs.). Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (4., 2010 jul, 26-29, Cascavel-PR). Cascavel: COODETEC, 2010. 170 p. <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/informacoes_tecnicas_trigo_triticale_safr_2011.pdf>. 10 Jan. 2011.
- Espindula, M.C.; Rocha, V.S.; Fontes, P.C.R.; da Silva, R.C.C.; Souza, L.T. Effect of nitrogen and Trinexapac-Ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves, *Journal of Plant Nutrition*, v.32, n.1, p.1956-1964, 2009. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160903245113>>. doi:10.1080/01904160903245113. 17 Jan. 2011.
- Fischer, R.A.; Rees, D.; Sayre, K. D.; Lu, Z.-M.; Condon, A. G.; Larque Saavedra, A. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, v.38, n.1, p.1467-1475, 1998. <<https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/38/6/CS0380061467>>. doi:10.2135/cropsci1998.0011183X003800 060011x. 15 Jan. 2011.
- Fox, R.H.; Piekielek, W.P.; Macneal, K.M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.25, n.3-4, p.171-181, 1994. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103629409369027>>. doi:10.1080/00103629409369027. 16 Jan. 2011.
- Hoel, B.O. Use of a hand-held chlorophyll meter in winter wheat: Evaluation of different measuring positions on the leaves. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, v.48, n.4, p.222-228, 1998. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064719809362502#preview>>. doi:10.1080/09064719809362502. 16 Jan. 2011.
- Inoue, T.; Inanaga, S.; Sugimoto, Y.; El Siddig, K. Contribution of pre-anthesis assimilates and current photosynthesis to grain yield, and their relationships to drought resistance in wheat cultivars grown under different soil moisture. *Photosynthetica*, v.42, n.1, p.99-104, 2004.

- <<http://www.springerlink.com/content/120338v4rq442654/>>. doi:10.1023/B:PHOT.0000040576.52128.ed. 15 Jan. 2011.
- Large, E.C. Growth stages in cereals illustration of the feeks scale. *Plant Pathology*, v.3, n.4, p.128-129, 1954. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x/pdf>>. doi:10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x. 21 Mar. 2011.
- Lloveras, J.; Manent, J.; Viudas, J.; López, A.; Santiveri, P. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a mediterranean climate. *Agronomy Journal*, v.96, n.5, p.1258-1265, 2004. <<https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/96/5/1258>>. doi:10.2134/agronj2004.1258. 15 Jan. 2011.
- Martins, M.B.G.; Castro, P.R.C. Reguladores vegetais e a anatomia da folha de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Ângela Gigante. *Scientia agrícola*, v.56, n.3, p.693-703, 1999. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0103-90161999000300026&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>>. doi:10.1590/S0103-90161999000300026. 18 Jan. 2011.
- Ozturk, A.; Caglar, O.; Bulut, S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. *Journal of Agronomy Crop Science*, v. 192, n.1, p. 10-16, 2006. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-037X.2006.00187.x/pdf>>. doi:10.1111/j.1439-037X.2006.00187.x 18 Jan. 2011.
- Santos, H.P.; Mundstock, C.M. Parâmetros da habilidade competitiva no estabelecimento de populações caracterizam o potencial de produção individual em trigo e aveia. *Revista Brasileira de Botânica*, v.25, n.1, p.43-53, 2002. <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v25n1/a07v25n1.pdf>>. doi:10.1590/S0100-84042002000100007. 07 Mar. 2011.
- Sayre, K.D.; Rajaram, S.; Fischer, R.A. Yield potential progress in short bread wheat in northwest Mexico. *Crop Science*, v.37, n.1, p.36-42, 1997. <<https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/37/1/CS0370010036>> doi:10.2135/cropsci1997.0011183X0037000100006x. 07 Mar. 2011.
- Sena Júnior, D.G.; Pinto, F. de A. de C.; Queiroz, D.M. de; Santos, N.T.; Khoury Júnior, J.K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.187-195, 2008. <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a19v28n1.pdf>>. doi.org/10.1590/S0100-69162008000100019. 16 Feb. 2011.
- Simmons, R.S. Growth, development, and physiology. In: Heyne, E.G. (Ed.). *Wheat and heat improvement*. Madison: Wisconsin, 1987. p.77-113.
- Sims, D.A.; Gamon, J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, v.81, n.2-3, p.337-354, 2002. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570200010X>>. doi:10.1016/S0034-4257(02)00010-X. 15 Mar. 2011.
- Sleeper, D.A.; Poehlman, J.M. *Breeding field crops*. Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006. 424p.
- Tahir, I.S.A.; Nakata, N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.191, n.2, p.106-115. 2005. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-037X.2004.00127.x/pdf>>. doi:10.1111/j.1439-037X.2004.00127.x. 15 Mar. 2011.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- Valério, I.P.; Carvalho, F.I. de; Oliveira, A.C. de; Benin, G.; Souza, V.Q. de; Machado, A.A. de; Bertan, I.; Busato, C. C.; Silveira, G. da; Fonseca, D. A. R. Seeding density in wheat genotypes as a function of tillering potential. *Scientia Agrícola*, v.66, n.1, p.28-39, 2009. <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v66n1/a04v66n1.pdf>>. doi:10.1590/S0103-90162009000100004. 17 Mar. 2011.
- Viana, E.M.; Kiehl, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. *Bragantia*, v.69, n.4, p.975-982, 2010. <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n4/v69n4a24.pdf>>. doi:10.1590/S0006-87052010000400024. 17 Mar. 2011.
- Wang, Y.; Li, J. Molecular basis of plant architecture. *Annual review of plant biology*, v.59, p.253-279, 2008. <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092902>>. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092902. 22 Mar. 2011.