

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO TRIGO¹

JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE², ARISVALDO VIEIRA MÉLLO JÚNIOR³,
MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI e TARLEI ARRIEL BOTREL²

RESUMO - Com o objetivo de encontrar melhores condições de manejo da irrigação e da adubação nitrogenada na cultura do trigo, desenvolveu-se um experimento delineado em blocos casualizados, com parcelas subdivididas. Os tratamentos foram definidos pela combinação de seis níveis de irrigação ($W_1 = 274$, $W_2 = 240$, $W_3 = 157$, $W_4 = 78$, $W_5 = 10,5$ mm e $W_6 = 0$) e cinco níveis de nitrogênio ($N_0 = 0$, $N_1 = 40$, $N_2 = 80$, $N_3 = 160$ e $N_4 = 320$ kg.ha⁻¹). A produtividade máxima de grãos (5.466,5 kg.ha⁻¹) foi obtida com 274 mm de irrigação e 80 kg.ha⁻¹ de nitrogênio. O número de grãos por espiga aumentou com a aplicação de água e nitrogênio, atingindo um máximo de 40,7 com 157 mm de irrigação e 160 kg N.ha⁻¹. O peso de 1000 grãos reduziu com a aplicação de lâminas de irrigação superiores a 240 mm e níveis de nitrogênio acima de 160 kg.ha⁻¹; entretanto, a percentagem de abortamento de perfilhos diminuiu.

Termos para indexação: fertilizante, aspersão, triticultura.

DIFFERENTS WATER DEPTH AND NITROGEN FERTILIZATION EFFECT ON WHEAT CROP YIELD

ABSTRACT - This work reports an experiment conducted under field conditions, with the objective of studying the effect of applied water depth, nitrogen fertilization and interactions between such factors on the wheat yield. The experiment was carried out in a randomized blocks design, with split-plots and four replications. Six water depths ($W_1 = 274$, $W_2 = 240$, $W_3 = 157$, $W_4 = 78$, $W_5 = 10.5$ mm, and $W_6 = 0$), and five levels of nitrogen ($N_0 = 0$, $N_1 = 40$, $N_2 = 80$, $N_3 = 160$ and $N_4 = 320$ kg.ha⁻¹) were combined and applied to the plots. Maximum grain yield (5466.5 kg.ha⁻¹) was observed for 274 mm irrigation depth and 80 kg N.ha⁻¹. The number of grains per spike increased with the water depth and nitrogen level, achieved the maximum (40.7) for 157 mm of water and 160 kg N.ha⁻¹. The weight of 1000 grains decreased and the fertile tillers ratio increased up to 240 mm of water and 160 kg N.ha⁻¹.

Index terms: fertilizer, sprinkler, wheat crop.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a área cultivada com trigo, no cerrado, aumentou sensivelmente nos últimos anos, em decorrência do potencial agrícola da região. Entretanto, ainda é escasso o conhecimento de opções de manejo dessa cultura que proporcionem produções economicamente satisfatórias.

Os solos sob cerrado, em geral, caracterizam-se por mostrar baixo teor de nutrientes, redução da matéria orgânica com sucessivos cultivos, pH baixo e alta fixação de fósforo (Lopes & Cox, 1977). A quantidade de água disponível é baixa, situando-se na faixa de 30 a 42,3 mm para os primeiros 30 cm de profundidade (McMahon & Goedert, 1985; Sans, 1986). Com evapotranspiração da ordem de 5 a 6 mm.dia⁻¹, o déficit hídrico ocorre muito rapidamente, principalmente se o sistema radicular estiver limitado à superfície. Isso pode ocasionar severas reduções na produtividade, particularmente se o déficit coincidir com estádios críticos de desenvolvimento da cultura (Azevedo, 1988). Nessas condições, a utilização da irrigação e da adubação poderá proporcionar produtividades economicamente viáveis.

¹ Aceito para publicação em 19 de março de 1996.

² Eng. Agr., Dr., Dep. Eng. Rural, ESAIQ/USP, Caixa Postal 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP.

³ Eng. Agr., Dr., pós-graduando em Eng. Hidráulica, Dep. Eng. Hidráulica, Escola Politécnica - USP, Caixa Postal 61548, CEP 05508-900 São Paulo, SP.

A resposta das culturas às diferentes combinações de irrigação e fertilizantes tem sido objeto de numerosas pesquisas. Tem-se observado que esta relação é normalmente caracterizada pela interação positiva desses dois fatores, uma vez que a resposta da cultura à irrigação aumenta com o acréscimo nos níveis de nutrientes minerais, particularmente de nitrogênio (Shimshi & Kafkafi, 1978; Singh & Kumar, 1981; Frizzone, 1987). A natureza dessa interação, entretanto, é diferente para várias culturas e regimes de irrigação; ela reflete a interdependência dos diferentes processos do solo e da planta, como: o efeito do momento e da quantidade de irrigação sobre a lixiviação de nutrientes; o efeito da irrigação sobre a habilidade da cultura em absorver nutrientes do solo; o efeito da fertilização sobre a eficiência do uso de água pela cultura; e o efeito de ambos os fatores sobre os componentes da produção.

Freqüentemente, a relação entre produção e lâmina de irrigação é uma função curvilínea (Frizzone, 1991). Essa natureza pode ser explicada pela porção da água aplicada, mas não-disponível à evapotranspiração da cultura, como perdas por percolação profunda (Barrett & Skogerboe, 1980). Após atingir um valor máximo, a produtividade diminui com o aumento da quantidade de água aplicada, em consequência da redução na aeração do solo, da lixiviação de fertilizantes, de doenças associadas com solo úmido e do acamamento das plantas (Bucks & Hunsaker, 1987).

Frizzone et al. (1985) estudaram os efeitos da freqüência e da lâmina de irrigação sobre a produção de trigo cultivado em solo de cerrado. Os resultados evidenciaram que alta freqüência de irrigação elevou a produtividade de grãos até o máximo de 2.006 kg.ha⁻¹, com irrigação efetuada cada vez que a evaporação acumulada no tanque "classe A" atingisse 20 mm, aplicando-se uma lâmina de água correspondente a 100% desta evaporação.

Muitos trabalhos têm demonstrado que a eficiência de uso de água no trigo é maior com o aumento de aplicação de nitrogênio. Para níveis de nitrogênio entre 56 e 94 kg.ha⁻¹, Daniels & Scott (1991) anotam um valor médio de eficiência de uso de água de 9,6 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, enquanto Tannaka (1990) relata um valor médio de 8,9 kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Deju & Jingwen (1993) apresentam um valor de 10 kg.ha⁻¹.mm⁻¹.

Eck (1988) mostrou que a eficiência de uso de água aumentou até a aplicação de 140 kg N.ha⁻¹ nos tratamentos sem déficit hídrico, mas diminuiu nos tratamentos com déficit. Hussain & Al-Jaloud (1995), estudando a cultura do trigo na Arábia Saudita, verificaram que a produtividade de grãos e a eficiência de uso de água cresceram com o aumento na dose de nitrogênio aplicada. A máxima produtividade (5.010 kg.ha⁻¹) ocorreu com a aplicação de 547 mm de água durante o ciclo e 225 kg N.ha⁻¹. Com essa lâmina de água, a máxima eficiência de uso de água foi de 12,24 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, com aplicação de 300 kg N.ha⁻¹.

Com base nos custos de bombeamento da água e considerando as condições adequadas de manejo da cultura, Eckert et al. (1978) observaram que a produtividade ótima do trigo foi de 4.405 kg.ha⁻¹ com a dose de 150,6 kg N.ha⁻¹ e 557 mm de água; níveis mais elevados desses fatores provocaram redução na produtividade econômica. França (1986) relata produtividades que variaram entre 1.830 e 2.850 kg.ha⁻¹ em resposta à aplicação de nitrogênio até a dose de 120 kg.ha⁻¹, com irrigação durante o período de seca.

Este trabalho teve como objetivo determinar a resposta da cultura do trigo a diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada e definir as melhores alternativas de manejo de tais insumos, com vistas à exploração econômica da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em Sete Lagoas, MG, no período de abril a agosto de 1991. O clima da região é de savana, com inverno seco (Relatório..., 1986). A temperatura e a umidade relativa médias durante o período de cultivo variaram de 18 a 25°C e de 60 a 85 %, respectivamente. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro alíco, fase cerrado, cujas características físicas estão mostradas na Tabela 1. A curva de retenção de água está apresentada na Fig. 1.

Utilizou-se a variedade de trigo BR10-Formosa, recomendada para cultivo sob regime de irrigação, com ciclo médio, porte baixo e resistência ao acamamento. A semeadura foi realizada em 15/4/91, no espaçamento de 0,20 m entre fileiras, e densidade de semeadura de 80 sementes por metro linear, para obtenção de 400 sementes aptas por metro quadrado.

TABELA 1. Características físicas do solo da área experimental.

Profundidade da camada (cm)	Granulometria ¹				Classe textural	Massa específica	
	AG (%)	AF (%)	S (%)	A (%)		Global (g.cm ⁻³)	Partícula (g.cm ⁻³)
0-15	7	8	31	54	Argilosa	0,86	2,44
15-30	7	7	26	60	Muito argilosa	1,06	2,46

¹ AG = Areia grossa; AF = Areia fina; S = Silte; A = Argila.

Com base na análise química do solo, realizou-se a adubação de manutenção, que consistiu de 10, 80, 60, 2 e 2 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, B e Zn, respectivamente. Utilizou-se, como fertilizantes, o sulfato de amônio, o superfosfato simples, o cloreto de potássio, o bórax e o sulfato de zinco. O suplemento de boro foi fornecido para controle do chochamento de grãos. Metade das doses de P₂O₅ e K₂O e toda a dose de B e Zn foram aplicadas a lanço, antes da semeadura, e incorporadas a 10 cm de profundidade. A outra metade das doses de P₂O₅ e K₂O e o N foram aplicados no sulco, por ocasião da semeadura.

Foram realizadas duas adubações nitrogenadas de cobertura, aplicando-se em cada uma a metade da quantidade de N definida como tratamento nas subparcelas. A primeira, aos 17 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas apresentavam-se com quatro folhas emergidas, correspondendo ao início do perfilhamento. A segunda, aos 36 DAS, época do perfilhamento intensivo. Após cada aplicação de nitrogênio, realizou-se irrigação com lâmina média de 3 mm.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas. Às parcelas foram aplicadas as seguintes lâminas médias de irrigação: W₁ = 274 (CV=19,5%), W₂ = 240 (CV=18,3%), W₃ = 157 (CV=20,2%), W₄ = 78 (CV=32,8%), W₅ = 10,5 mm (CV=138,6%) e W₆ = 0. Os valores entre parêntesis referem-se aos coeficientes de variação das lâminas de irrigação aplicadas em cada parcela. Tal coeficiente aumentou à medida que se afastou da linha de aspersores, sendo elevado na parcela W₅, o que pode ser atribuído ao fato de a distribuição de água não ser igual nos dois lados da linha, por causa do efeito do vento, da velocidade de rotação dos aspersores e da declividade do terreno. Resultados semelhantes são relatados por Willardson et al. (1987). Às subparcelas aplicaram-se, aleatoriamente, as seguintes doses de nitrogênio: N₀ = 0, N₁ = 40, N₂ = 80, N₃ = 160 e N₄ = 320 kg.ha⁻¹. As lâminas de irrigação foram obtidas em função do gradiente de precipitação, resultante de uma linha central de aspersores, instalada na metade da área

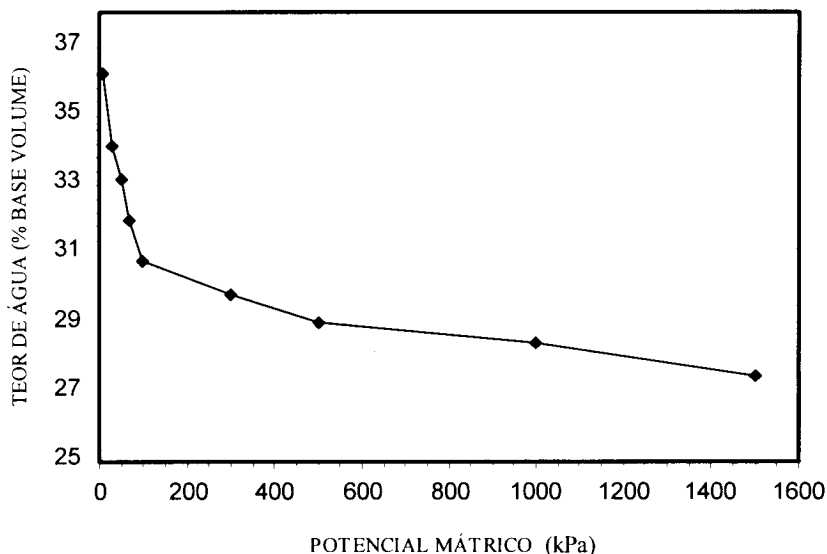


FIG. 1. Curva de retenção de água no solo, na camada de 0 a 30 cm.

experimental, cuja operação seguiu o método proposto por Baunder et al. (1975) e Hanks et al. (1976).

As distâncias da linha de aspersores ao centro de cada parcela foram: 1,9; 4,9; 7,9; 10,9; 13,9 e 17,7 m, correspondendo às lâminas de água W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 e W_6 , respectivamente. A última parcela foi afastada 1,2 m da penúltima, para evitar que fosse irrigada. A aplicação de água foi controlada por quatro linhas de coletores e, em cada parcela de controle, foram utilizados dois coletores.

O experimento foi instalado em terreno com 1% de declividade na direção da linha de aspersores e 6% na sua perpendicular. Cada subparcela apresentou dimensões de 2,6 x 6,0 m (16,6 m²), considerando-se úteis 1,4 x 4 m (5,6 m²).

Da sementeira ao estágio inicial do perfilhamento, aplicou-se uma lâmina de água de 142,4 mm (89,8 mm de irrigação e 52,6 mm de chuva) em todos os tratamentos, para estabelecimento da cultura. A penúltima irrigação foi feita de modo a saturar 40 cm do perfil do solo, para igualar a umidade em todos os tratamentos. A última foi realizada para infiltrar, no solo, a segunda adubação nitrogenada.

A diferenciação dos níveis de irrigação iniciou-se no 39^o DAS, prolongando-se até o 98^o DAS, quando a maioria dos tratamentos encontrava-se no estágio de grãos de macio a seco. Nesse período, não ocorreu precipitação pluvial. As irrigações foram realizadas de forma a manter o potencial matricial da água no solo, controlado por tensiômetros

instalados na parcela W_2 a 20 cm de profundidade, na faixa de -30 a -50 kPa. Este controle está de acordo com as recomendações para a cultura do trigo (Freitas & Camargo, 1987), permitindo a obtenção de tratamentos com excesso e déficit de água, conforme se constata na Fig. 2. O teor de água no solo na capacidade de campo (0,3415 cm³.cm⁻³) foi estimado a -30 kPa. O cálculo da lâmina de irrigação baseou-se na capacidade de campo e no teor de água no solo no momento da irrigação, inferido a partir da curva característica.

Os grãos foram colhidos em cada subparcela numa área útil de 5,6 m², pesados, e os valores correspondentes foram transformados em kg.ha⁻¹, com umidade corrigida para 13%. Determinou-se, também, o número de grãos por espiga, o peso de 1000 grãos e o peso do hectolitro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de grãos de trigo é mostrada na Tabela 2. A análise de variância mostrou efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para irrigação, nitrogênio e interação desses fatores. A análise de variância para o desdobramento das interações, considerando o efeito dos níveis de N dentro de cada lâmina de irrigação e destas dentro de cada nível de N, mostrou efeito altamente significati-

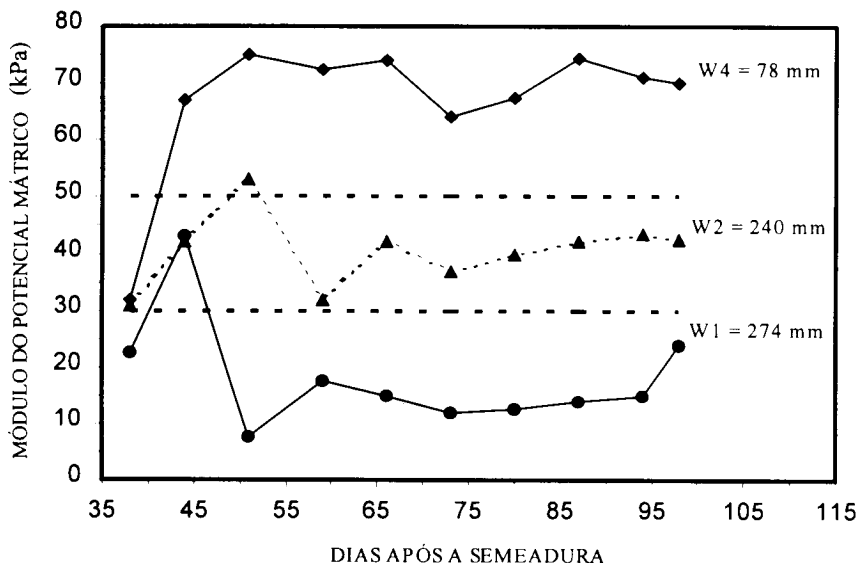


FIG. 2. Variação do potencial mátrico de água no solo, medido um dia antes de cada irrigação, a 20 cm de profundidade, em três parcelas de irrigação.

TABELA 2. Médias de produtividades de grãos de trigo (kg.ha⁻¹) em função das lâminas de irrigação e dos níveis de nitrogênio.

Lâmina de irrigação (mm)	Nível de nitrogênio (kg.ha ⁻¹) ¹					Média
	N ₁ (0)	N ₁ (40)	N ₂ (80)	N ₃ (160)	N ₄ (320)	
W ₁ (274)	AB 2668,3 d	A 4265,0 c	A 5466,5 a	A 5075,0 ab	A 4807,3 bc	A 4456,4
W ₂ (240)	A 2806,0 c	A 3966,8 b	AB 4917,3 a	A 4933,8 a	A 4672,5 a	A 4259,3
W ₃ (157)	AB 2574,8 c	A 3635,3 b	B 4302,5 a	A 4479,8 a	A 4314,0 a	B 3861,3
W ₄ (78)	B 2039,5 b	B 2692,5 a	C 2993,5 a	B 3144,5 a	B 3100,0 a	C 2794,0
W ₅ (10,5)	C 995,3	C 1079,5	D 1427,3	C 890,8	C 800,8	D 1038,7
W ₆ (0)	C 587,5	C 505,8	E 487,5	C 595,8	C 391,3	E 513,6
Média	1945,2 c	2690,8 b	3265,8 a	3186,6 a	3014,3 a	

¹ Em cada série de médias na horizontal, os valores seguidos pela mesma letra minúscula, não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Em cada série de médias na vertical, os valores antecedidos pela mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

vo, exceto do N dentro de W₅ (10,5 mm) e W₆ (sem irrigação), indicando que, nessas parcelas, o nitrogênio não afetou a produtividade. A análise dos efeitos das lâminas de irrigação, em cada nível de nitrogênio, mostrou significância estatística, a 1% de probabilidade pelo teste de F, em todos os níveis de nitrogênio.

Comparando-se as médias de produtividades pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, verificou-se que, para a lâmina de irrigação W₁ (274 mm), a maior produtividade (5.466,5 kg.ha⁻¹) ocorreu com o nível de nitrogênio N₂ (80 kg.ha⁻¹), não diferindo estatisticamente da produtividade (5.075 kg.ha⁻¹) obtida com o nível N₃ (160 kg.ha⁻¹). A menor produtividade (2.668,3 kg.ha⁻¹) nessa lâmina de irrigação ocorreu no tratamento N₀ (sem adubação nitrogenada de cobertura). No nível de nitrogênio N₄ (320 kg.ha⁻¹), obteve-se produtividade de 4.807,3 kg.ha⁻¹, que não diferiu estatisticamente das obtidas nos níveis N₃ e N₁.

Com W₂ (240 mm), as produtividades obtidas nos níveis N₂, N₃ e N₄ não diferiram significativamente; entretanto foram superiores às obtidas nos níveis N₁ e N₀. Nessa lâmina de irrigação, em todos os níveis de nitrogênio, as produtividades não diferiram daquelas obtidas com a lâmina W₁, ocorrendo o mesmo entre as lâminas de irrigação W₃ e W₂, para as quais as maiores produtividades foram 4.479,8 e 4.933,8 kg.ha⁻¹, no nível N₃, respectiva-

mente. Nos tratamentos de irrigação W₅ (10,5 mm) e W₆ (sem irrigação), os níveis de nitrogênio não proporcionaram diferenças significativas na produtividade. Entre esses tratamentos, só houve diferenças significativas no nível N₂.

As maiores produtividades (5.466,5 e 5.075,0 kg.ha⁻¹) foram obtidas com os níveis W₁ (274 mm de água) dentro de N₂ (80 kg N.ha⁻¹) e N₃ (160 kg N.ha⁻¹), respectivamente. As menores produtividades foram obtidas nos tratamentos não-irrigados, em todos os níveis de nitrogênio, com média de 513,6 kg.ha⁻¹. Esse valor é inferior à produtividade média obtida dentro do nível zero de nitrogênio (1.945,2 kg.ha⁻¹), indicando que a ausência de irrigação afetou mais a produtividade de grãos que a adubação nitrogenada de cobertura.

A redução de produtividade nos tratamentos que receberam déficit de água e de nitrogênio pode ser explicada pela redução da taxa de evapotranspiração, afetando importantes processos fisiológicos, principalmente em períodos críticos do desenvolvimento da planta (perfilhamento e floração), conforme relatado por Sutton & Dubbelde (1980), Souza & Tubelis (1982) e Brunini et al. (1983). Como causa da redução na produtividade, pode ser ressaltada também, a senescência precoce ocorrida nesses tratamentos, o que, segundo Khalifa (1973), reduz a duração da área foliar e, conseqüentemente, sua capacidade fotossintética.

O fato de a adição de nitrogênio aumentar a produtividade da cultura, quando a quantidade de água é satisfatória, reforça a idéia divulgada por França (1986) e Fontoura et al. (1988) de que é necessário adubação nitrogenada para possibilitar altas produções, principalmente em solos onde a presença desse nutriente é deficiente, como é o caso do solo de cerrado. Em condições insatisfatórias de umidade do solo, a aplicação de nitrogênio é prejudicial ou pouco eficiente, conforme salienta Ramos (1981). Nesse caso, a resposta do trigo passa a depender da quantidade e da distribuição da precipitação pluvial.

O abortamento de perfilhos resulta em decréscimo do número de perfilhos que poderiam originar espiga e, conseqüentemente, em menor produção de grãos por unidade de área. A Tabela 3 mostra os resultados de abortamento de perfilhos, nos diferentes tratamentos. A análise de variância indicou que a água e o nitrogênio influenciaram significativamente na sobrevivência dos perfilhos. As maiores porcentagens de abortamento de perfilhos, em cada nível de irrigação, ocorreram em W₁ no nível N₀ (52,2%), em W₂ no nível N₀ (53,2%), em W₃ no nível N₄ (60,4%), em W₄ no nível N₁ (59,4%), em W₅ no nível N₄ (66,8%) e em W₆ no nível N₀ (61,9%). Observou-se uma tendência de menores níveis de nitrogênio (N₀, N₁ e N₂) exercerem efeito prejudicial em todas as lâminas de irrigação. Já nos maiores níveis (N₃ e N₄), houve uma diminuição no abortamento, quando foram utilizadas lâminas de irrigação maiores (W₁ e W₂).

Analisando-se as médias, aumentos nas quantidades aplicadas de água e de nitrogênio reduziram a percentagem de abortamento de perfilhos (Tabela 3). Os tratamentos que apresentaram menores porcentagens de abortamento foram W₁N₄, W₁N₃ e W₂N₄, cujos valores foram 18,1, 23,8 e 16%, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Musick & Dusek (1980), Parameswaran et al. (1981) e Keim & Kronstad (1981). Redução na percentagem de perfilhos sobreviventes foi observada por Fisher & Kohn (1966), quando se utilizaram níveis muito altos de nitrogênio. Neste trabalho, essa tendência não se manteve em todos os níveis de irrigação, sendo observada apenas em W₃ (157 mm), W₅ (10,5 mm) e W₀ (sem irrigação).

O número de grãos por espiga está representado na Fig. 3. Pela análise de variância foi constatado efeito significativo para as lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio, e para a sua interação. O desdobramento das interações indicou efeito significativo de nitrogênio dentro das lâminas de irrigação, exceto em W₅ e W₆. Ocorreu também efeito significativo das lâminas de irrigação dentro de cada nível de nitrogênio, sendo mais acentuado o efeito nos níveis N₃ e N₄.

O maior valor em relação a número de grãos por espiga foi 40,7, obtido com W₃ (157 mm de água), com N₃ (160 kg N.ha⁻¹) e N₄ (320 kg N.ha⁻¹). Em relação a esse máximo, na ausência de irrigação, ocorreu uma redução do número de grãos por espiga, de 61,8% e 68,1%, nos níveis de nitrogênio

TABELA 3. Percentagem de abortamento de perfilhos de trigo, em função das lâminas de água e níveis de nitrogênio.

Lâmina de irrigação (mm)	Nível de nitrogênio (kg.ha ⁻¹) ¹					Média
	N ₀ (0)	N ₁ (40)	N ₂ (80)	N ₃ (160)	N ₄ (320)	
W ₁ (274)	52,2 a	B 46,0 ab	B 37,7 b	C 23,8 c	C 18,1 c	C 35,6
W ₂ (240)	53,2 a	C 31,1 b	B 34,1 b	A 47,9 a	C 16,0 c	C 36,5
W ₃ (157)	56,3 a	AB 59,2 a	B 42,0 b	A 57,1 a	A 60,4 a	AB 55,0
W ₄ (78)	53,5 a	A 59,4 a	A 54,2 a	B 42,6 b	B 42,2 b	B 50,4
W ₅ (10,5)	53,6 bc	A 62,9 ab	A 48,2 c	A 57,3 abc	A 66,8 a	A 57,8
W ₆ (0)	61,9 a	B 48,0 b	A 58,8 a	AB 53,9 ab	A 56,6 ab	A 55,8
Média	55,1 a	51,1 ab	45,8 c	47,1 bc	43,3 c	

¹ Em cada série de médias na horizontal, os valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Em cada série de médias na vertical, os valores antecedidos pela mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

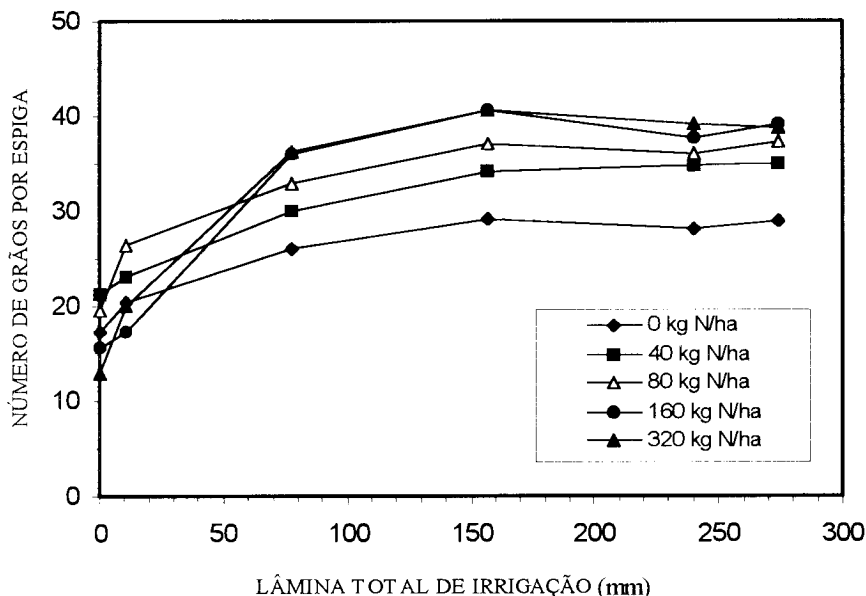


FIG. 3. Número de grãos por espiga em função das lâminas de irrigação, para diferentes níveis de adubação nitrogenada.

N_3 e N_4 , respectivamente. O efeito do déficit de água foi mais prejudicial em níveis mais elevados de nitrogênio.

O desenvolvimento da cultura sob condições desfavoráveis de umidade no solo induz à ocorrência de esterilidade do estame, causando sucessiva inviabilidade do grão de pólen (Saini & Aspinall, 1981; Gusta & Chen, 1987), assim como chochamento da espiga, que são fatores que preocupam a produção comercial de trigo, trazendo, como consequência, baixa produção final. Esses argumentos são adequados, tendo em vista as reduções no número de grãos por espiga, decorrentes de déficit de água, observadas em todos os níveis de nitrogênio utilizados. Além disso, o déficit hídrico pode dificultar a assimilação de boro, causando sua deficiência na planta e favorecendo o chochamento da espiga.

O peso médio de 1.000 grãos, em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio, está representado na Fig. 4. A análise de variância indicou efeito significativo em relação às variáveis estudadas e sua interação. Os desdobramentos da interação mostraram significância das doses de nitrogênio

apenas nas lâminas de irrigação W_1 e W_2 ; os níveis N_0 , N_1 e N_2 , embora não diferissem estatisticamente, apresentaram melhores resultados que N_3 e N_4 .

O efeito da irrigação sobre o peso de 1.000 grãos, em todos os níveis de nitrogênio, foi significativo, sendo mais evidente nos níveis N_0 , N_1 e N_2 . Os resultados apresentados na Fig. 4 revelam que, nesses níveis de nitrogênio, as melhores lâminas de irrigação foram W_1 (274 mm), W_2 (240 mm) e W_3 (157 mm), respectivamente, não havendo diferença significativa entre elas. Nos níveis N_3 e N_4 , a melhor lâmina de irrigação foi W_3 (157 mm).

Grandes déficits de água no solo, como verificados nos tratamentos W_5 e W_6 , provocaram redução no peso de 1.000 grãos, sendo o pior resultado (36,7 g/1.000 grãos) obtido no tratamento W_5 N_0 (10,5 mm de água sem adubação nitrogenada em cobertura). Fisher & Kohn (1966) associaram esse fato à senescência da cultura. De modo geral, constatou-se que o suprimento de nitrogênio pouco contribuiu para o aumento do peso de 1.000 grãos. Níveis elevados de nitrogênio (160 e 320 kg.ha⁻¹) e maiores lâminas de irrigação (240 e 274 mm) reduziram o peso de 1.000 grãos.

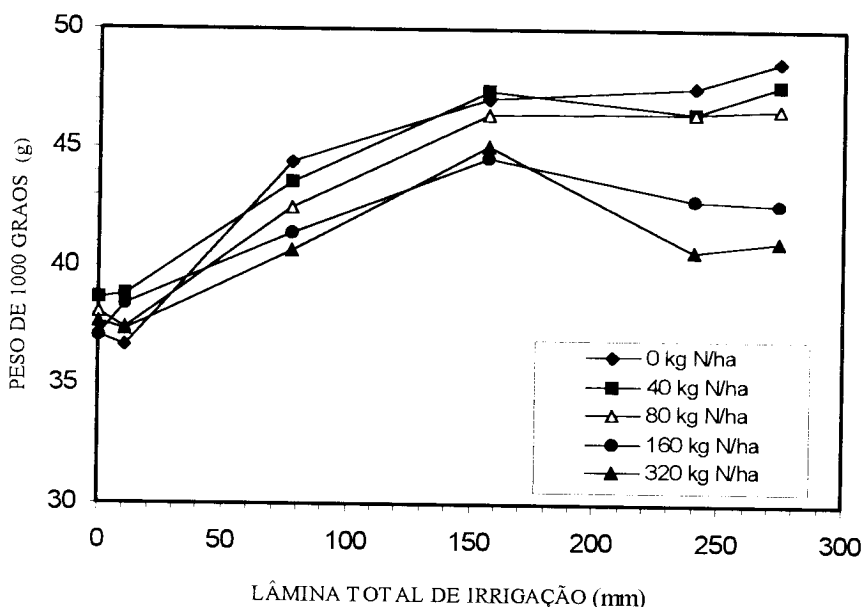


FIG. 4. Peso de 1000 grãos em função das lâminas de irrigação, para diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados do peso do hectolitro, obtidos em função das lâminas de água e níveis de nitrogênio. Pela análise de variância dos dados, verificou-se efeito significativo da água e do nitrogênio, sem interação significativa entre eles. Os valores revelam uma superioridade da lâmina de irrigação W_4 sobre as demais, exceto sobre a W_3 , a qual não diferiu de W_2 . Valores encontrados nas lâminas W_1 , W_2 e W_5 não apresentaram diferença estatística entre si, sendo maiores que W_6 , que constituiu o pior tratamento de irrigação.

Observou-se que tanto o excesso quanto o déficit de irrigação fizeram diminuir o peso do hectolitro. Entretanto, somente a ausência de irrigação (W_6) foi prejudicial, pois seu valor foi inferior a 78 kg.h^{-1} , que é o peso padrão de comercialização. A venda da produção com valor inferior a esse peso provocará uma redução no preço, decorrente da perda de qualidade do produto. Britto (1988) também observou esse comportamento com relação ao excesso de água, mas não verificou influência do déficit.

TABELA 4. Médias dos pesos do hectolitro (kg.h^{-1}), em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio.

Lâmina de irrigação (mm)	Nível de nitrogênio (kg.ha^{-1}) ¹					Média
	N_0 (0)	N_1 (40)	N_2 (80)	N_3 (160)	N_4 (320)	
W_1 (274)	83,7	82,1	82,1	78,1	77,8	C 80,7
W_2 (240)	84,5	83,6	82,5	79,6	78,5	BC 81,8
W_3 (157)	84,6	84,4	83,0	82,3	80,2	AB 82,9
W_4 (78)	85,6	85,3	83,8	82,2	81,6	A 83,7
W_5 (10,5)	83,2	81,9	80,9	79,1	79,4	C 80,8
W_6 (0)	77,8	75,6	71,9	75,0	73,3	D 74,7
Média	82,2 a	82,1 a	80,7 b	79,4 c	78,5 c	

¹ Em cada série de médias na horizontal, os valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Em cada série de médias na vertical, os valores antecidos pela mesma letra maiúscula não diferem, significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com relação ao efeito do nitrogênio no peso do hectolitro, as médias dos tratamentos (Tabela 4) indicaram melhores valores nos níveis N_0 e N_1 , seguidos de N_2 , N_3 e N_4 ; sendo que os dois últimos não diferiram estatisticamente. A redução do peso do hectolitro com o aumento do nível de nitrogênio é confirmada por Brito (1988), que obteve peso maior que 78 kg.h⁻¹ somente quando não foi aplicado adubo nitrogenado.

CONCLUSÕES

1. A máxima produtividade de grãos de trigo é obtida com 274 mm de irrigação e 80 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

2. Sem déficit hídrico, doses elevadas de nitrogênio (160 a 320 kg.ha⁻¹) proporcionam redução na porcentagem de abortamento de perfilhos.

3. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio crescentes propiciam aumento do número de grão de trigo por espiga.

4. Lâminas de irrigação elevadas (157 a 274 mm) e doses de nitrogênio inferiores a 80 kg.ha⁻¹ proporcionam os maiores valores médios de peso de 1.000 grãos.

5. O peso do hectolitro diminui com o aumento da dose de nitrogênio e a redução na lâmina de irrigação.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, J.A. **Níveis de tensão de água no solo e supressão da irrigação em três períodos de crescimento do trigo (*Triticum aestivum* L.) irrigado em solo de cerrado**: efeito sobre a produtividade, componentes da produção, desenvolvimento e uso de água. Piracicaba: ESALQ-USP, 1988. 157p. Tese de Doutorado.
- BARRETT, J.W.H.; SKOGERBOE, G.V. Crop production function and the allocation and use of irrigation water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.3, p.53-64, 1980.
- BAUNDER, J.W.; HANKS, R.J.; JAMES, D.W. Crop production function determination as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. **Soil Science Society of America, Proceedings**, Madison, v.39, p.1187-1192, 1975.
- BRITTO, R.A.L. Irrigação plena e suplementar nos cerrados do centro-oeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABID/CIC, 1988. p.139-160.
- BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; CAMARGO, M. B. P. Efeito dos elementos climáticos no desenvolvimento da cultura do milho. In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUTIVIDADE DO MILHO, 1983, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1983. p.21-40.
- BUCKS, D. A.; HUNSAKER, D. J. Water use variability in irrigated level basins. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.30, p.1090-1098, 1987.
- DANIELS, M. B.; SCOTT, H. D. Water use efficiency of double-cropped wheat and soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.8, p.564-570, 1991.
- DEJU, Z.; JINGWEN, L. The water use efficiency of winter wheat and maize on a salt affected soil in Huang Hua Hai river plain of China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.23, p.67-82, 1993.
- ECK, H.V. Winter wheat response to nitrogen and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.902-908, 1988.
- ECKERT, J.B.; CHAUDHRY, N. N.; QURESHI, S. A. Water and nutrient response of semi-dwarf wheat and improved management in Pakistan; agronomic and economic implications. **Agronomy Journal**, Madison, v.10, p.77-80, 1978.
- FISHER, R. A.; KOHN, G. D. The relationship of grain yield to vegetative growth and post-flowering leaf area in the wheat crop conditions of limited soil moisture. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.17, p.281-295, 1966.
- FONTOURA, J.U.G; FABRÍCIO, A.C.; HAAG, H.P. **Matéria seca, absorção e exportação de macro e micronutrientes pelo trigo, sob regime de sequeiro e irrigação em latossolo roxo**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 83p.
- FRANÇA, G.E. Adubação nitrogenada em Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1985, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. p.107-124.
- FREITAS, J. G.; CAMARGO, C. E. O. Cultivar de trigo IAC-24; rendimento de grãos e caracteres agrônômicos em três faixas de umidade do solo. **Bragantia**, Campinas, v.46, p.159-168, 1987.

- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.123-133.
- FRIZZONE, J.A. Planejamento otimizado da irrigação. In: D. NETTO, D.; SAAD, A. M.; Van LIER, Q. J. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba: Dep. de Agricultura, ESALQ, 1991. p.1-26.
- FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PEREIRA, G.T.; RETTORE, P. R. Efeito da frequência e da lâmina de irrigação na produção de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v.9, p.198-207, 1985.
- GUSTA, L.V.; CHEN, T.H.H. The physiology of water and temperature stress. In: HEYNE, E. G. **Wheat and wheat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p.115-150. (Series Agronomy, 13).
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P. WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation - crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.426-429, 1976.
- HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A. A. Effect of irrigation and nitrogen on water use efficiency of wheat in Saudi Arabia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.27, p.143-153, 1995.
- KEIM, D.L.; KRONSTAD, W.E. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. **Crop Science**, Madison, v.21, p.11-15, 1981.
- KHALIFA, M.A. Effects of nitrogen on leaf area index, leaf area duration, net assimilation rate, and yield of wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.253-256, 1973.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. Cerrado vegetation in Brasil: An edaphic gradient. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.828-831, 1977.
- McMAHON, M.A.; GOEDERT, W. J. The cerrados, future wheat production prospects and limitations. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF WHEAT FOR MORE TROPICAL ENVIRONMENTS, 1984, México. **Proceedings...** México: CIMMYT, 1985. p.239-249.
- MUSICK, J.T.; DUSEK, D.A. Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.45-52, 1980.
- PARAMESWARAN, K.V.M.; GRAHAM, R.D.; ASPINALL, D. Studies on the nitrogen and water relations of wheat. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.3, p.29-44, 1981.
- RAMOS, M. Caracterização da curva de resposta do trigo à aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.5, p.611-615, 1981.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL 1986. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1986. 207p.
- SAINI, H.S.; ASPINALL, D. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Annals of Botany**, London, v.48, p.623-644, 1981.
- SANS, L.M.A. **Estimativa do regime de umidade pelo método de Newhall de um Latossolo Vermelho-Escuro álico da região de Sete Lagoas, MG**. Viçosa: UFV, 1986. 190p. Tese de Mestrado.
- SHIMSHI, D.; KAFKAFI, U. The effect of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.). **Irrigation Science**, Heidelberg, v.1, p.27-38, 1978.
- SINGH, K.P.; KUMAR, V. Water use and water-use efficiency of wheat and barley in relation to seeding dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.3, p.305-316, 1981.
- SOUZA, F.G.A.; TUBELIS, A. Determinação do período crítico de irrigação na cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.8, p.1193-1198, 1982.
- SUTTON, B.G.; DUBBELDE, E.A. Effects of water deficit on yield of wheat and triticale. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, East Melbourne, v.20, p.594-598, 1980.
- TANNAKA, D.L. Topsoil removal influences on spring wheat water use efficiency and nutrient concentration and content. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.33, p.1518-1524, 1990.
- WILLARDSON, L.S.; OOSTERHUIS, D.M.; JOHNSON, D. A. Sprinkler selection for line-source irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.8, p.65-76, 1987.