

RENDIMENTO DO SORGO GRANÍFERO ADUBADO COM NITROGÊNIO E FÓSFORO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RODRIGO GOMES PEREIRA¹, FÁBIO HENRIQUE TAVARES DE OLIVEIRA¹, GERONIMO FERREIRA DA SILVA¹, MARIA REGILENE DE FREITAS COSTA PAIVA¹, JOSÉ NOVO JÚNIOR¹

¹UFRPE, Recife, PE, Brasil, rgpereira2005@hotmail.com, fabio@ufersa.edu.br, agrogefe@yahoo.com.br, regilene_costa@hotmail.com, agrojuniior86@hotmail.com

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.3, p. 285-299, 2014

RESUMO - Este trabalho teve por objetivo avaliar o rendimento do sorgo granífero em função de doses de N e de P₂O₅. Os tratamentos estudados foram resultantes da combinação entre quatro doses de N (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) e de quatro doses de P₂O₅ (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) e um tratamento controle, totalizando 17 tratamentos. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial. As características avaliadas foram: altura de plantas; diâmetro do colmo; comprimento de panícula; diâmetro de panícula; matéria seca; produtividade de grãos; teores de nitrogênio e fósforo na folha; teores de nitrogênio e fósforo no solo; receita bruta; gastos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados; e receita líquida. O aumento da disponibilidade de nitrogênio e de fósforo no solo influencia o comprimento de panícula, o diâmetro de panícula, a matéria seca, a produtividade de grãos e os teor de nitrogênio e fósforo na planta.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; produção de grãos; fertilidade do solo.

YIELD OF GRAIN SORGHUM FERTILIZED WITH NITROGEN AND PHOSPHORUS IN THE BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT - This study aimed to evaluate the performance of grain sorghum as a function of doses of N and P₂O₅. The treatments consisted of the combination of four N rates (30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹) and four doses of P₂O₅ (30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹) and a control treatment, totaling 17 treatments. The experimental design was a randomized complete block with four replications in a factorial design. The characteristics evaluated were: plant height, stem diameter, panicle length, panicle diameter, dry matter, grain yield, nitrogen and phosphorus content in leaf, nitrogen content, phosphorus in the soil, gross receipts, costs of nitrogen and phosphate fertilization and net income. The increase on nitrogen and phosphorus availability in the soil affected panicle length, panicle diameter, dry matter, grain yield, total nitrogen and phosphorus in plant.

Key words: *Sorghum bicolor*; grain production; soil fertility.

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), por possuir características de plantas xerófilas, apresenta características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico e reiniciar o crescimento quando a água se torna disponível (Masojidek et al., 1991; Silva et al. 2001). Além de que, logo após o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até crescer mais rapidamente do que as que não sofreram estresse (Donatelli et al., 1992).

Devido a esse fato, o cultivo do sorgo é especialmente importante para a região Nordeste do Brasil, por conta de grande parte desta região localizar-se sob a influência de uma zona de fatores climáticos adversos denominada Semiárido, que apresenta precipitação média anual entre 500 e 1000 mm (APPS, 2006; Tabosa et al, 1993). Segundo Menelau (1998), existe uma área potencial para a exploração com sorgo no Nordeste de 9.370.000 hectares. Nos últimos 10 anos, a área de exploração nesta região saltou de 23,6 mil hectares na safra de 1998 para 105,8 mil hectares em 2008 (Conab, 2010).

Contudo, a produtividade média de sorgo no Brasil ainda é considerada baixa, em torno de 2.335 kg ha⁻¹ de grãos (Levantamento..., 2010). Dentre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade nas áreas destinadas à produção dessas plantas, destacam-se as precipitações irregulares, a fertilidade do solo e as baixas aplicações de fertilizantes (Aguilar et al., 2007).

O fósforo aumenta a eficiência do nitrogênio absorvido, o qual se une às cadeias carbonadas, incrementando, assim, a formação de novos tecidos e, conseqüentemente, a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas, as quais, sob condições ambientais favoráveis, elevam a eficiência do uso da radiação

solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria seca e a produção de grãos (Taiz & Zeiger, 2004).

Diante do exposto, este trabalho objetiva avaliar o rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no município de Baraúna, RN.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2010, numa propriedade particular localizada na microrregião da Chapada do Apodi, município de Baraúna, RN. As coordenadas geográficas de referência são Latitude Sul 5° 04' 48" e Longitude Oeste 37° 37' 00". A altitude do local do experimento é 94 m, o clima, de acordo com a classificação de Koeppen, é do tipo BSwh, clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono (fevereiro - abril). A região apresenta precipitação média anual de 695,8,5 mm, temperatura média anual em torno de 27,4 °C, umidade relativa média anual de 70% e vegetação predominante Caatinga Hiperxerófila (Beltrão et al., 2005).

O solo onde as parcelas experimentais foram instaladas foi classificado como Cambissolo Háplico de textura franco-argilo-arenosa, derivado de calcário e relevo plano, Sistema... (2009). As características químicas e físicas do solo determinadas analiticamente encontram-se dispostas na Tabela 1.

O sistema de preparo do solo realizado foi o sistema convencional, caracterizado por uma gradagem aradora, duas gradagens niveladoras. A semeadura do sorgo foi realizada manualmente no dia 19/03/2010 e o cultivar utilizado foi o híbrido simples de sorgo granífero BR 304. O experimento contou com o auxílio de um sistema de irrigação localizada por gotejamento, com espaçamento de 0,40 m entre emissores e vazão 2,5 l h⁻¹. A lâmina

TABELA 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental avaliadas na camada de 0-20 cm.

Ph	M.	N total	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	(H+Al)	Areia	Silte	Argila
H ₂ O	%	g dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----		-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	g kg ⁻¹	-----
6,9	1,12	1,3	4,1	291,6	10,0	7,3	2,7	0,0	1,65	19,86	31,05	49,09

suplementar de irrigação foi obtida pelo balanço hídrico, considerando-se a precipitação e a evapotranspiração da cultura (ETc).

O experimento obedeceu ao esquema de blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 68 parcelas. Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 6 m de comprimento espaçadas a 0,7 m entre si, contendo 75 plantas em cada linha, sendo a área útil da parcela as duas linhas centrais, descartando-se 0,5 m em cada extremidade.

Os tratamentos consistiram na combinação em esquema fatorial de quatro doses de N (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) com quatro doses de P₂O₅ (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), mais um tratamento com ausência de N e P₂O₅ (testemunha), obtendo-se 17 tratamentos. As doses de N foram parceladas, aplicando-se 20% da dose de N no plantio e o restante aos 30 e aos 60 dias após a emergência das plantas. As doses dos demais nutrientes foram aplicadas em fundação e foram constantes para todos os tratamentos.

Os fertilizantes utilizados para fornecer N e K₂O foram ureia / sulfato de amônio (fundação / cobertura) e cloreto de potássio (50 kg ha⁻¹), respectivamente. Para o fornecimento de P, foi utilizado o superfosfato triplo. Os micronutrientes utilizados foram B, Zn e Cu e as fontes utilizadas foram bórax, sulfato de zinco e sulfato de cobre, nas doses de 1,0; 1,0 e 0,5 kg ha⁻¹, respectivamente.

Aos 45 dias após a emergência, foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 20 cm, na área útil de cada parcela, para determinação

dos teores de N total (Tedesco et al., 1995) e P disponível pelo extrator Mehlich⁻¹ (Embrapa, 1997). Para composição de uma amostra composta, foram coletadas 12 amostras simples nas duas fileiras centrais de cada parcela, de acordo com recomendação de Oliveira et al. (2007). No início do florescimento do sorgo, foi coletada a quarta folha com a bainha visível a partir do ápice para realização da análise foliar (Malavolta et al., 1997). Todas as análises químicas de solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa). As análises de planta foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

As variáveis analisadas foram: altura de plantas; diâmetro do colmo; comprimento de panícula; diâmetro de panícula; matéria seca; massa de 100 grãos; produtividade de grãos; teores de nitrogênio e fósforo na folha, teores de nitrogênio e fósforo no solo.

As variáveis altura de plantas, comprimento de panícula, diâmetro do colmo e diâmetro de panícula foram determinadas durante o estágio de grãos leitosos. Essas variáveis foram determinadas medindo-se ao acaso, com o auxílio de uma régua e um paquímetro, 10 plantas por parcela. Para a determinação da matéria seca, foram coletadas plantas em 4 m lineares, quando os grãos se encontravam no estágio farináceo mole. A fitomassa vegetal coletada foi pesada, sub-amostrada e seca em estufa a 65 °C até peso constante, determinando-se, a seguir, a produção de fitomassa seca.

Para determinação da massa de 100 grãos, fez-se a contagem ao acaso de quatro repetições, que tiveram suas massas determinadas e ajustadas para 13% de umidade. Para a estimativa da produtividade, foram mensurados os grãos contidos na área útil de cada subparcela 7,0 m² (1,4 x 5 m) mediante pesagem e expressa em toneladas por hectare, ajustadas para 13% de teor de umidade.

De posse dos valores de produção de grãos estimados pelo modelo de regressão, foi realizada a análise econômica do experimento, quando foram calculados receita bruta, gastos com fertilizantes e receita líquida. A receita bruta foi calculada considerando-se a produção estimada pelo modelo de regressão ajustado e o preço do sorgo, que foi considerado 20% inferior à cotação do milho (Coelho et al., 2002). No comércio local, um saco de milho com 60 kg de milho custa R\$30,00; com isso, o valor mínimo estipulado para o sorgo foi da ordem de R\$24,00.

Para calcular os gastos com fertilizantes, foi utilizado o custo dos fertilizantes utilizados, tendo um saco de 50 kg de superfosfato triplo o custo de R\$53,00, o de ureia R\$60,00 e o sulfato de amônio R\$38,80. Com isso, o custo de 1 kg de P₂O₅ superfosfato triplo é R\$2,52, 1 kg de N via ureia custa R\$2,67 e 1 kg de N via sulfato de amônio custa R\$3,88. Para calcular o custo da adubação nitrogenada, considerou-se que 20% da dose de N foram aplicados via ureia e 80% via sulfato de amônio. Com base nessas informações e nos valores das doses de N e de P aplicadas, calculou-se o custo da adubação. A receita líquida foi calculada através da diferença entre a receita bruta e os gastos com fertilizantes.

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão linear múltipla (superfície de resposta). As médias de cada tratamento foram ajustadas por um modelo de regressão linear múltipla,

considerando-se as doses de N e de P como variáveis independentes:

$$Y = a + bN + cN^2 + dP + eP^2 + fNP,$$

onde Y é a variável dependente, N as doses de Nitrogênio (kg ha⁻¹) e P as doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹). Após o ajuste deste modelo completo, foram descartados os coeficientes com significância superior a 10%, ajustando-se um novo modelo mais simples apenas com os parâmetros com contribuição significativa para o modelo. Estas análises foram efetuadas com o software SAEG[®]. Após escolha do modelo, os valores de significância foram corrigidos pelo programa Fcalcw32[®] for Windows e foram realizadas superfícies de resposta para cada característica avaliada, utilizando-se o programa SigmaPlot[®] 10.0.

Resultados e Discussão

As variáveis altura de plantas e diâmetro do colmo não apresentaram efeito significativo pelo teste F (P < 0,10) e nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados. Para a variável altura de plantas, a média dos tratamentos (1,31 m) foi 15,92% maior que a da testemunha (1,13 m). Já o diâmetro do colmo variou de 1,87 cm (testemunha) a 2,20 cm (média dos tratamentos), inferindo que as adubações nitrogenadas e fosfatadas apresentaram incremento de apenas 17,6% em relação à testemunha.

Fonseca et al. (2008), avaliando o mesmo cultivar, apresentaram valores de 113,1 cm para altura de plantas, com incremento de 122 e 50% em relação aos tratamentos com omissão de N e P, respectivamente. Para a variável diâmetro do colmo, apresentaram valores da ordem de 15,31 mm, com incrementos de 284 e 126% em relação aos tratamentos com omissão de N e P.

O comprimento de panícula apresentou efeito significativo (p < 0,01) entre os tratamentos estudados,

tendo as doses de N se ajustado ao modelo quadrático, com incremento positivo e de pequena magnitude. Deste modo, o comprimento de panícula máximo estimado foi obtido na dose de 86,85 kg ha⁻¹ de N. As doses de P₂O₅ apresentaram efeito positivo e linear, significando que o maior comprimento de panícula foi obtido com a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, significando também que a pequena magnitude desse efeito sugere que a dose econômica deve ser bem menor que 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 2, Figura 1A). Dan et al. (2010), avaliando cultivares de

sorgo granífero, obtiveram resultados de comprimento de panícula similares aos do presente estudo.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que o diâmetro de panícula e a produção de matéria seca apresentaram efeito significativo ($p < 0,01$) para as doses de N e P₂O₅ aplicadas. Para o diâmetro de panícula, a equação de regressão que melhor se ajustou aos dados foi a quadrática, de modo que as doses estimadas para obtenção da máxima produção foi 87,89 kg ha⁻¹ de N e 111,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

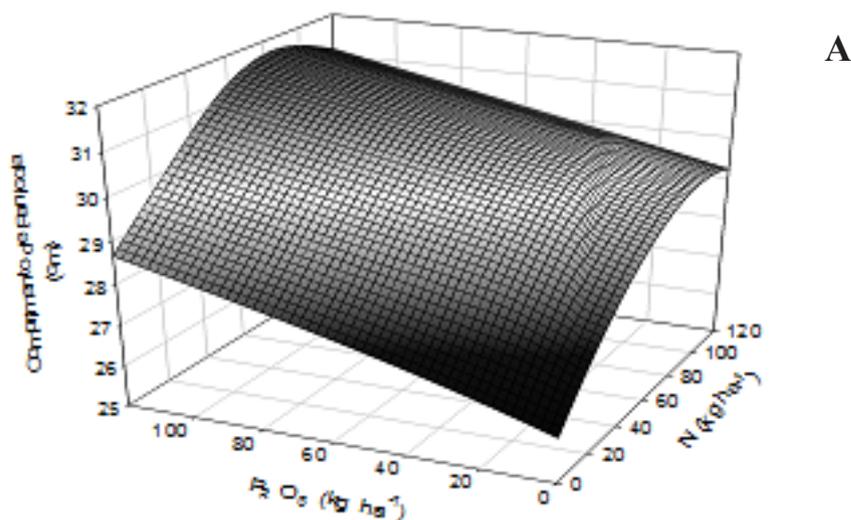
TABELA 2. Comprimento de panícula e Diâmetro de panícula em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo.

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dose de N (kg ha ⁻¹)					Média
	0	30	60	90	120	
Comprimento de panícula (cm)						
0	24,85	-	-	-	-	-
30	-	30,10	29,70	29,63	30,35	29,94
60	-	29,50	31,18	30,70	30,28	30,41
90	-	29,65	31,03	29,78	30,80	30,31
120	-	30,70	30,75	31,15	31,60	31,05
Média	-	29,99	30,66	30,31	30,76	30,43
ANAVA ¹	CV (%):	5,1			Ftrat:	3,75**
Regressão	Y = 26,0798 + 0,0853330** N - 0,000491253** N ² + 0,0158534** P					
Diâmetro de panícula (cm)						
0	2,28	-	-	-	-	-
30	-	4,49	4,92	4,60	4,92	4,73
60	-	4,60	5,30	4,96	4,96	4,95
90	-	4,80	5,18	4,71	5,26	4,99
120	-	5,35	5,41	5,10	5,60	5,37
Média	-	4,81	5,20	4,84	5,18	5,01
ANAVA ¹	CV (%):	10,6			Ftrat:	8,03**
Regressão	Y = 2,73253 + 0,0302445** N - 0,000172060** N ² + 0,0255154** P - 0,0001144218* P ²					

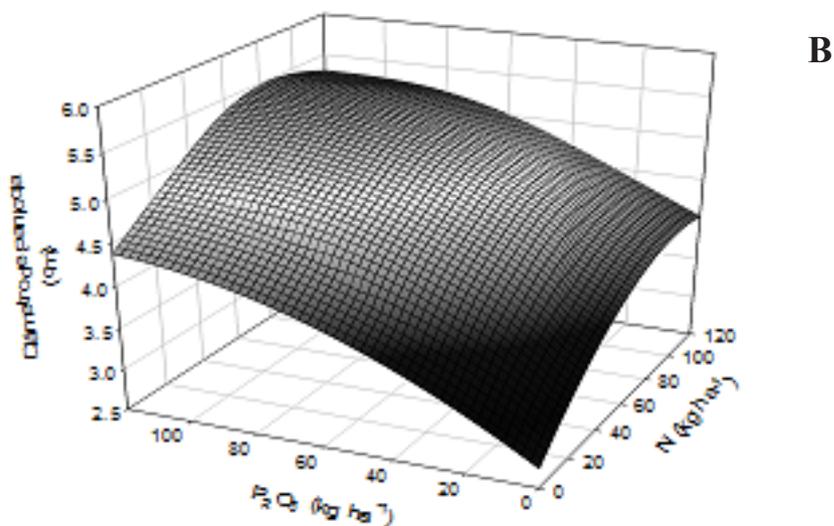
¹Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. **significativo a 1%. *significativo a 5%.

Para a mesma variável, a combinação das menores doses (30 kg ha⁻¹ de N + 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentou acréscimo de aproximadamente 97% em relação à testemunha. Esse resultado indica que a área experimental apresenta baixa disponibilidade dos nutrientes estudados e que, mesmo aplicando-se pequenas doses, obtêm-se respostas de grande magnitude (Tabela 2, Figura 1B).

Na Tabela 3, encontram-se dispostos os resultados referentes às variáveis matéria seca e massa de 100 grãos. A produção de matéria seca apresenta efeito quadrático para as doses de N; dessa maneira, a produção máxima estimada foi obtida na dose de 117,21 kg ha⁻¹ de N. As doses de P₂O₅ apresentaram efeito positivo e linear. A magnitude dos efeitos das doses de N e de P₂O₅ utilizadas pode ser observada na Tabela 3



$$Y = 26,0798 + 0,0853330**N - 0,000491253**N^2 + 0,0158534**P \quad R^2 = 0,76$$



$$Y = 2,73253 + 0,0302445**N - 0,000172060**N^2 + 0,0255154**P - 0,0001144218*P^2 \quad R^2 = 0,80$$

FIGURA 1. Superfície de resposta para o Comprimento de panícula (A) e o Diâmetro de panícula (B) em função de doses de nitrogênio (N) e de fósforo (P₂O₅) aplicadas no solo.

e na Figura 2A. De acordo com a mesma tabela, pode-se observar que houve efeito significativo ($p < 0,05$) para a massa de 100 grãos. Porém, nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados obtidos.

Cruz et al. (2009) e Leite (2006) apresentaram efeito linear para a produção de matéria seca do sorgo em função de doses de fósforo. Cecato et al. (2004) afirmam que a deficiência de fósforo reduz a taxa de crescimento e o estabelecimento das plantas forrageiras, limitando seu potencial produtivo. Khalili et al. (2008), avaliando estresse hídrico e adubação fosfatada na cultura do sorgo, obtiveram valores superiores para as variáveis matéria seca e, proporcionalmente, peso de 100 grãos. Sumeria et al. (2002), avaliando genótipos de sorgo submetidos a níveis de fertilização fosfatada, obtiveram resposta linear para as variáveis peso de 1000 grãos, produção de forragem e produtividade de grãos.

De acordo com a análise de regressão obtida a partir dos valores da variável produtividade de grãos (Tabela 3, Figura 2B), pode-se observar efeito significativo para os tratamentos estudados ($p < 0,01$). Deste modo, a produtividade de grãos teve incremento de 2,8 vezes quando comparada à testemunha com a média geral dos tratamentos. A equação de regressão que melhor se ajustou às doses de N foi a linear, porém de baixa magnitude ($p < 0,05$). Para as doses de P_2O_5 , foi ajustado o modelo quadrático ($p < 0,01$), apresentando a produtividade máxima estimada com a dose de $109,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

Segundo Kill (2005), a aplicação de fósforo propiciou aumento de 24% na produção de sorgo. Cruz et al. (2009) apresentaram efeito linear para as doses de P utilizadas sobre a produtividade de grãos de dois híbridos de sorgo. Khalili et al. (2008) obtiveram produtividade da ordem de $5818,0 \text{ kg ha}^{-1}$ no tratamento sem estresse hídrico, utilizando as doses

de 45 kg ha^{-1} de N e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Khan et al. (2005), avaliando dois cultivares de milho submetidos à diferentes doses de fósforo em condições salinas, obtiveram a dose de 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 como a dose de máxima eficiência física.

De acordo com a Tabela 4, o teor de nitrogênio foliar apresentou efeito significativo ($p < 0,01$), porém nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados. De acordo com a mesma, houve variação de $23,95 \text{ g kg}^{-1}$ (Testemunha) a $33,93 \text{ g kg}^{-1}$ (30 kg ha^{-1} de N + 90 kg ha^{-1} de P_2O_5), obtendo ainda um incremento de aproximadamente 30% quando comparada a testemunha com a menor dose aplicada. Babiker et al. (1999) sugerem como ideal o teor foliar de N da ordem de $25,0 \text{ g kg}^{-1}$, Martinez et al. (1999) adotam como ideais valores de referência entre 23,1 e $29,0 \text{ g kg}^{-1}$; isso revela que a dose mínima de N aplicada é suficiente para elevar o teor de N na folha a níveis adequados.

Fonseca et al. (2008) e Prado et al. (2007), cultivando sorgo granífero em solução nutritiva, obtiveram valores de teor de N foliar similares aos da presente pesquisa. Dessa forma, pode-se considerar que o nível crítico de N na folha diagnóstica do sorgo para este experimento será considerado a média geral dos tratamentos ($30,95 \text{ g kg}^{-1}$).

Para o teor de fósforo na folha, observa-se efeito significativo para os tratamentos estudados ($p < 0,01$). Contudo, não houve efeito de doses de N nos teores de P na folha, corroborando com os resultados obtidos por Prado et al. (2007). A equação de regressão ajustada seguiu o modelo linear ($p < 0,01$). Verificou-se, ainda, que o aumento das doses de P_2O_5 aplicadas no solo provocou um aumento na concentração de P na folha, de modo que houve um incremento de 94,40% quando comparada a testemunha com a média geral dos tratamentos (Tabela 4, Figura 3A).

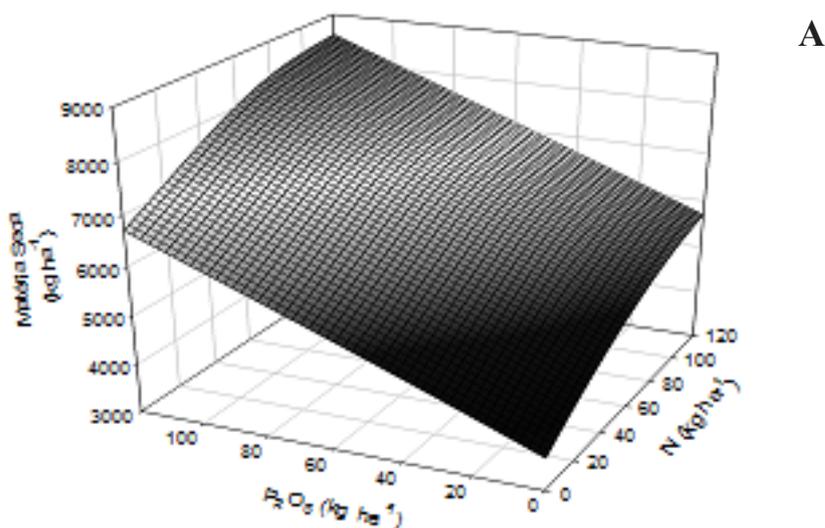
TABELA 3. Comprimento de panícula e Diâmetro de panícula em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo.

Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dose de N (kg ha ⁻¹)					Média
	0	30	60	90	120	
Matéria seca (kg ha ⁻¹)						
0	3.392	-	-	-	-	-
30	-	5.480	6.585	5.778	6.728	6.143
60	-	5.827	6.683	6.642	7.032	6.546
90	-	6.597	7.324	7.074	8.029	7.256
120	-	7.394	8.527	7.917	8.936	8.193
Média	-	6.324	7.280	6.853	7.681	7.034
ANAVA ¹	CV (%):	11,6			Ftrat:	10,49**
Regressão	Y = 3656,17 + 32,2676** N - 0,1268280 N ² + 23,9705** P					
Massa de 100 grãos (g)						
0	2,68	-	-	-	-	-
30	-	2,70	2,62	2,55	2,45	2,58
60	-	2,48	2,67	2,67	2,51	2,58
90	-	2,57	2,55	2,48	2,54	2,53
120	-	2,58	2,63	2,50	2,74	2,61
Média	-	2,58	2,62	2,55	2,56	2,58
ANAVA ¹	CV (%):	5,2			Ftrat:	1,67*
Regressão	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)						
0	1539	-	-	-	-	-
30	-	3930	3061	3479	3819	3572
60	-	4800	3971	4007	4270	4262
90	-	4805	4321	4236	4584	4487
120	-	4991	4836	4879	4986	4923
Média	-	4632	4047	4150	4415	4311
ANAVA ¹	CV (%):	12,2			Ftrat:	11,84**
Regressão	Y = 2007,75 + 0,122997* N + 51,1783** P - 0,233145** P ²					

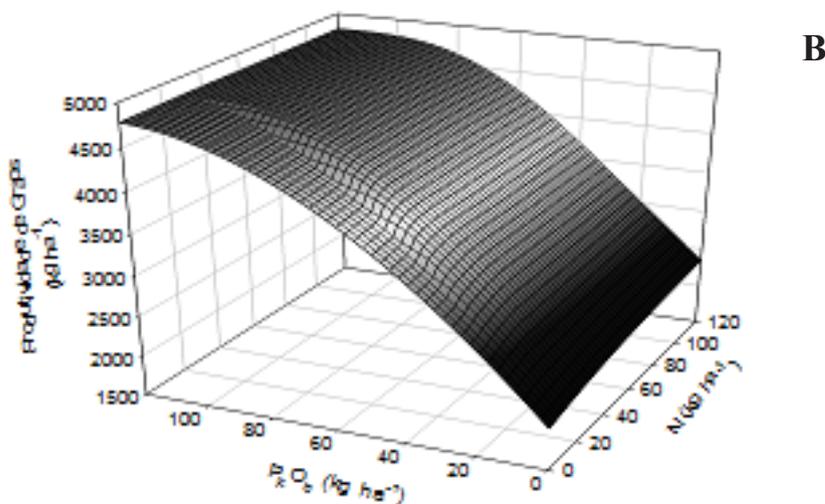
¹Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. **significativo a 1%. *significativo a 5%.

Deste modo, o nível crítico de P na folha diagnóstica do sorgo para este experimento será considerado a média geral dos tratamentos (2,43 g kg⁻¹). Fonseca et al. (2008) e Prado et al. (2007), avaliando cultivares de sorgo, apresentaram teor de fósforo foliar da ordem de 4,0 g kg⁻¹. Martinez et al. (1999) adotam como ideal o teor de 4,4 g kg⁻¹.

De acordo com a mesma, o teor de fósforo no solo não apresentou efeito significativo para as doses de N e P₂O₅ estudadas. Contudo, a equação de regressão que melhor se ajustou aos dados seguiu o modelo linear, não havendo efeito das doses de N no teor de P no solo. As doses de P₂O₅ apresentaram efeito linear significativo (p < 0,01) de grande magnitude, indicando que o teor de fósforo no solo aumentou com as



$$Y = 3656,17 + 32,2676^{**}N - 0,1268280 N^2 + 23,9705^{**}P \quad R^2 = 0,92$$



$$Y = 2007,75 + 0,122997^{*}N + 51,1783^{**}P - 0,233145^{**}P^2 \quad R^2 = 0,81$$

FIGURA 2. Superfície de resposta para matéria seca (A) e Produtividade de grãos (B) em função de doses de nitrogênio (N) e de fósforo (P₂O₅) aplicadas no solo.

TABELA 4. Teor de nitrogênio na folha, Teor de fósforo na folha e Teor de fósforo no solo em função de doses de nitrogênio e de fósforo aplicadas no solo.

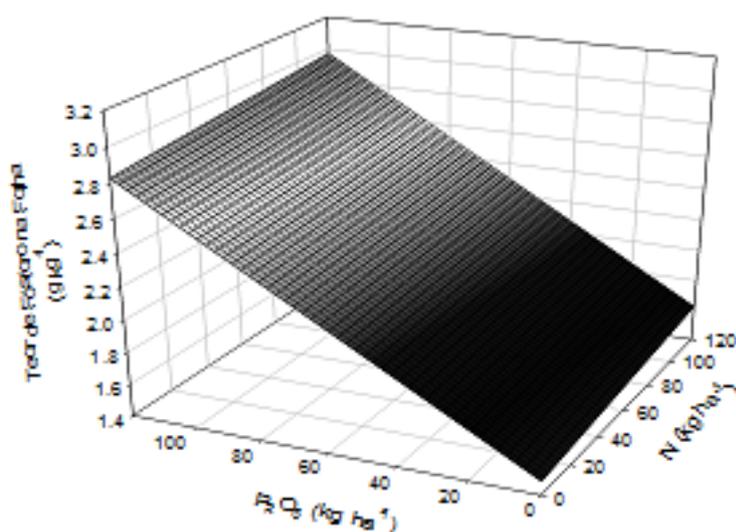
Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dose de N (kg ha ⁻¹)					Média
	0	30	60	90	120	
Teor de nitrogênio na folha (g kg ⁻¹)						
0	23,95	-	-	-	-	-
30	-	30,68	33,72	31,73	31,08	31,80
60	-	28,93	32,74	31,28	29,97	30,73
90	-	33,93	29,69	27,46	30,07	30,29
120	-	32,27	30,56	30,87	30,19	30,97
Média	-	31,45	31,68	30,34	30,33	30,95
ANAVA ¹	CV (%):	8,2			Ftrat:	3,53**
Regressão	Nenhum modelo se ajustou aos dados					
Teor de fósforo na folha (g kg ⁻¹)						
0	1,25	-	-	-	-	-
30	-	2,08	1,98	2,05	1,91	2,01
60	-	2,18	2,43	2,07	2,27	2,24
90	-	2,59	2,51	2,41	2,66	2,54
120	-	2,72	3,05	2,96	2,99	2,93
Média	-	2,39	2,49	2,37	2,46	2,43
ANAVA ¹	CV (%):	12,7			Ftrat:	9,46**
Regressão	Y = 1,48409 + 0,00117978 ^{ns} N + 0,0112136** P					
Teor de fósforo no solo (mg dm ⁻³)						
0	3,25	-	-	-	-	-
30	-	3,98	6,00	3,93	5,52	4,86
60	-	5,77	7,00	7,86	7,39	7,00
90	-	5,96	13,77	8,35	12,76	10,21
120	-	18,42	20,43	13,45	12,83	16,28
Média	-	8,53	11,80	8,40	9,63	9,59
ANAVA ¹	CV (%):	92,7			Ftrat:	1,45 ^{ns}
Regressão	Y = 1,48409 + 0,00117978 ^{ns} N + 0,0112136** P					

¹Análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso, com 16 graus de liberdade para tratamentos e 48 graus de liberdade para o resíduo. **significativo a 1%. *significativo a 5%. ^{ns}Não significativo.

doses de P_2O_5 aplicadas. Esse efeito pode ser justificado pelo fato de a adubação fosfatada apresentar efeito residual no solo. A grande magnitude dos efeitos das doses de P_2O_5 pode ser observada tanto pela superfície de resposta, quanto pelos valores dos parâmetros das equações de regressão ajustadas (Tabela 4, Figura 3B).

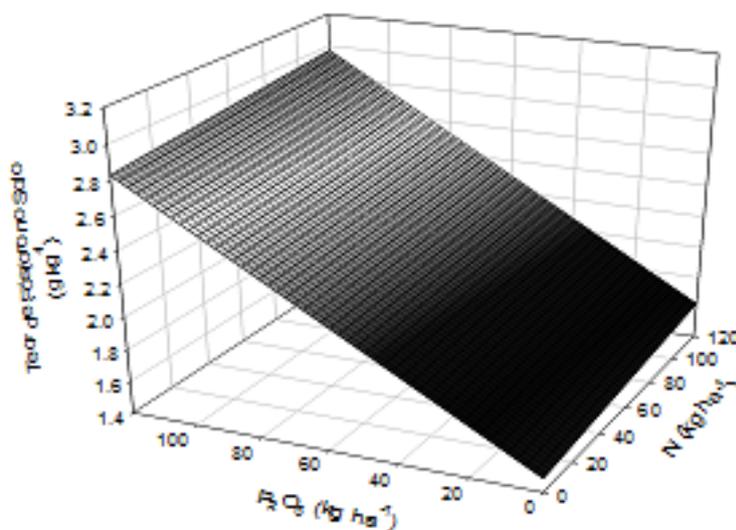
Para o teor de nitrogênio no solo, não houve efeito significativo para os tratamentos estudados e

nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados. Deste modo, os níveis críticos de N e P no solo para este experimento serão considerados as respectivas médias dos tratamentos, sendo $0,67 \text{ g kg}^{-1}$ o nível crítico de N no solo e $9,59 \text{ mg dm}^{-3}$ o nível crítico de P no solo. De acordo com os resultados obtidos na presente pesquisa, o manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e



A

$$Y = 1,48409 + 0,00117978^{ns} N + 0,0112136^{**} P \quad R^2 = 0,91$$



B

$$Y = 1,48409 + 0,00117978^{ns} N + 0,0112136^{**} P \quad R^2 = 0,74$$

FIGURA 3. Superfície de resposta para Teor de fósforo na folha (a) e Teor de fósforo no solo (B) em função de doses de nitrogênio (N) e de fósforo (P_2O_5) aplicadas no solo.

de Santa Catarina, assim como Alvarez et al. (1999), consideram os teores de fósforo no solo como bom e médio, respectivamente.

Na Tabela 5, encontram-se dispostos os valores de produção de grãos estimada pelo modelo de regressão (Figura 2B), receita bruta, gastos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e receita líquida em função de doses de N e de P_2O_5 aplicadas ao solo. De acordo com os resultados obtidos, a maior receita líquida estimada foi de R\$1559,30, a qual corresponde a uma produção de 4775,89 kg ha⁻¹ (produção de máxima eficiência econômica), que se torna possível com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N + 96 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Para obtenção dessa receita líquida máxima, o produtor teria que investir R\$351,06 em adubos nitrogenados e fosfatados.

Quando comparadas as doses de máxima eficiência econômica com as doses de máxima eficiência física, pode-se observar diminuição significativa das doses de N e P_2O_5 aplicadas, o que é muito importante do ponto de vista econômico, podendo-se observar redução de 120 para 30 kg ha⁻¹ de N e de 109,75 para 96 kg ha⁻¹ para as doses de P_2O_5 aplicadas, o que diminuiu os gastos com fertilizantes em aproximadamente 50% e aumenta a receita líquida em 21,8%.

Buah & Mwinkaara (2009), avaliando doses de nitrogênio e densidade de plantas na cultura do sorgo, obtiveram a dose de 40 kg ha⁻¹ de N como a dose de máxima eficiência econômica, obtendo ainda uma receita líquida de US\$659,67 ha⁻¹, representando um incremento de aproximadamente 28% em relação ao tratamento controle.

Para produtividades acima de 4,0 ton ha⁻¹ de grãos sorgo, as principais tabelas de recomendação de adubação em uso no país recomendam: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais de 50 a 60 kg ha⁻¹ de N e de 30 a 70 kg ha⁻¹ de P_2O_5 ; Indicações

Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul de 35 a 75 kg ha⁻¹ de N e de 0 a 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Deste modo, as tabelas de recomendação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados utilizadas no país assemelham-se às doses de máxima eficiência econômica obtidas no presente trabalho.

Conclusões

1. O aumento da disponibilidade de nitrogênio e de fósforo no solo influencia o comprimento de panícula, o diâmetro de panícula, a matéria seca, a produtividade de grãos, o teor de nitrogênio na planta e o teor de fósforo na planta.

2. Os níveis críticos de N e P no solo para este experimento são, respectivamente, 0,67 g kg⁻¹ o nível crítico de N no solo e 9,59 mg dm⁻³ o nível crítico de P no solo.

3. Para este experimento, as doses de máxima eficiência física estimadas foram 120 kg ha⁻¹ de N e 109,75 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Contudo, as doses de máximas eficiências econômica e ambiental recomendadas foram 30 kg ha⁻¹ de N + 96 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Referências

- AGUIAR L. M. S.; MORAES, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. Clima: época de plantio. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).
- ALVAREZ, V.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises dos solos In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação**

TABELA 5. Produção de grãos de sorgo granífero, Receita bruta, Gastos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados e Receita líquida em função de doses N e de P₂O₅ aplicadas no solo.

Dose de N	Dose de P ₂ O ₅	Produção de grãos	Receita bruta	Gasto com fertilizantes	Receita líquida
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$	R\$	R\$
0	0	2007,75	803,10	0,00	803,10
30	30	3336,96	1334,78	184,74	1150,04
30	60	4242,82	1697,13	260,34	1436,79
30	90	4729,01	1891,60	335,94	1555,66
30	96	4775,89	1910,36	351,06	1559,30
30	109,75	4820,01	1928,00	385,71	1542,29
30	120	4795,55	1918,22	411,54	1506,68
60	30	3340,65	1336,26	293,88	1042,38
60	60	4246,51	1698,60	369,48	1329,12
60	90	4732,70	1893,08	445,08	1448,00
60	109,75	4823,70	1929,48	494,85	1434,63
60	120	4799,24	1919,70	520,68	1399,02
90	30	3344,34	1337,74	403,02	934,72
90	60	4250,20	1700,08	478,62	1221,46
90	90	4736,39	1894,56	554,22	1340,34
90	120	4802,93	1921,17	629,82	1291,35
120	30	3348,03	1339,21	512,16	827,05
120	60	4253,89	1701,55	587,76	1113,79
120	90	4740,08	1896,03	663,36	1232,67
120	100	4808,89	1923,56	688,56	1235,00
120	105	4825,81	1930,32	701,16	1229,16
120	109,75	4831,08	1932,43	713,13	1219,30
120	112	4829,91	1931,96	718,80	1213,16
120	115	4824,67	1929,87	726,36	1203,51
120	120	4806,62	1922,65	738,96	1183,69

- para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- APPS. Disponível em <http://www.apps.agr.br/upload/ax2_2402200649695300_sorgoseednewsjan2006.pdf> Acesso em: 10 jul. 2011.
- BABIKER, E. A.; SALIH, A.A.; MOHAMED, B. A. Response of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to NP fertilizers and cropping sequences on irrigated vertisols of the Rahad Scheme. **Sudan Journal of Agricultural Research**, Wad Medani, v. 2, p. 135-146, 1999.
- BELTRAO, B. A.; ROCHA D. E. G. A.; MASCARENHAS, J. C.; SOUZA JUNIOR, L. C.; PIRES, S. T. M.; CARVALHO, V. G. D. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea.** Diagnóstico do município de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p.
- BUAH, S. S. J.; MWINKAARA. S. Response of sorghum to nitrogen fertilizer and plant density in the Guinea Savanna Zone. **Journal of Agronomy**. Amsterdam, v. 8, n. 4, p. 124-130, 2009.
- CECATO, U.; PEREIRA, L. A. F.; FONTES, L. A.; JOBIM, C. C.; MARTINS, E. N.; BRANCO, A. F.; GALBEIRO, S.; MACHADO, A. O. Influencia das adubações nitrogenadas e fosfatada sobre a produção e característica da rebrota do capim-Marandu (*Brachiária Brizantha* Hochst Stapf cv Marandu). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 399-407, 2004.
- COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. A.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo.** Piracicaba: POTAFOS, 2002. 24 p. il. (Arquivo do Agrônomo, 14). Encarte do Informações Agronômicas, n. 100, 2002.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Produção agropecuária. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/SorgoSerieHistxls>>. Acesso em: 9 jul. 2010.
- CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. C.; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G. Adubação fosfatada para a cultura do sorgo granífero. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 91-97, 2009.
- DAN, H. A.; CARRIJO, M. S.; CARNEIRO, D. F.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G. Desempenho de plantas sorgo granífero sobre condições de sombreamento. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 675-679, 2010.
- DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 781-786, 1992.
- FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008.
- KHALILI, A.; AKBARI, N.; CHAICHI, M. R. Limited irrigation and phosphorus fertilizer effects on yield and yield components of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. var. Kimia). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**. Faisalabad, v. 3, n. 5, p. 697-702, 2008.
- KHAN, M. A.; ABID, M.; HUSSAIN, N.; MASOOD, M. U. Effect of phosphorous levels on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars under

- saline conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**. Faisalabad, v. 7, n. 3, p. 511-514, 2005.
- KILL, L. H. P.; MENEZES, E. A. **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa semi-árido; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 340 p.
- LEITE, M. L. V. **Crescimento vegetativo do sorgo sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) stapf) em função da disponibilidade de água no solo e fontes de fósforo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 11 p. 1-80 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; ALEXIOU, A.; HALL, D. O. The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 96, p. 198-207, 1991.
- MENLAU, A. S. Abertura de novas fronteiras para as culturas de milho e de sorgo no Nordeste: pólos industriais x bolsões de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 22., 1998, Recife. **Globalização e segurança alimentar**. Resumos...Recife: ABMS: IPA: EMBRAPA-CNPMS, 1998. p. 31-32.
- PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 122-128, 2007.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 259 p.
- SILVA, S.; SOARES, M.; OLIVEIRA, L. E. M. Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidroelétrico submetido a deficiência hídrica. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 25, n. 1, p. 124-133, 2001.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- SUMERIA, H. K.; MALI, A. L.; DADHEECH, R. C. Effect of phosphorus fertilization on yield attributes and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. **Indian Journal of Agricultural Research**, Haryana, v. 36, n. 4, p. 293-295, 2002.
- TABOSA, J. N.; FRANÇA, J. G. E.; SANTOS, J. P. O.; MACIEL, G. A.; LIRA, M. A.; ARAÚJO, M. R. A.; GUERRA, N. B. Teste em linhagens de sorgo no semi-árido de Pernambuco para consumo humano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 1385-1390, 1993.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 526 p.