

**Efeito da Adubação
de Cobertura com
Nitrogênio e Potássio
na Cultura do Sorgo
Biomassa**



ISSN 1679-0154
Novembro, 2013

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 73

Efeito da Adubação de Cobertura com Nitrogênio e Potássio na Cultura do Sorgo Biomassa

Flávia Cristina dos Santos
Manoel Ricardo de Albuquerque Filho
Álvaro Vilela de Resende
Antônio Carlos de Oliveira

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: cnpms.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau
Membros: Dagma Dionísia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro,
Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda
de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros.

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa
Foto(s) da capa: Manoel Ricardo de Albuquerque Filho

1ª edição

1ª impressão (2013): on line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo**

Efeito da adubação de cobertura com nitrogênio e potássio na
cultura do sorgo biomassa / Flávia Cristina dos Santos ... [et
al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2013.
36 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa
Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 73).

1. Fertilidade do solo. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Recurso energético.
I. Santos, Flávia Cristina dos. II. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2013

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	0
Resultados e Discussão	11
Conclusões	31
Agradecimentos	31
Referências	32

Efeito da Adubação de Cobertura com Nitrogênio e Potássio na Cultura do Sorgo Biomassa

Flávia Cristina dos Santos¹

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho²

Álvaro Vilela de Resende³

Antônio Carlos de Oliveira⁴

Resumo

Num programa de geração de energia a partir da biomassa de plantas, a produtividade, qualidade do material e extração de nutrientes assumem papel de relevância e, nesse contexto, a adubação com NK influencia diretamente. Logo, essa pesquisa objetivou avaliar o efeito da adubação NK de cobertura no sorgo biomassa. Foram instalados dois experimentos na Embrapa Milho e Sorgo, com as cultivares CMSXS 7020 e CMSXS 652, nas safras 2010/11 e 2011/12, com doses de 0 a 240 kg ha⁻¹ de N e 0 a 180 kg ha⁻¹ de K₂O. A produtividade de matéria seca do CMSXS 7020 não foi afetada pelas doses dos nutrientes, enquanto a do CMSXS 652 sofreu efeito quadrático

¹Engenheira Agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisadora em Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, flavia.santos@embrapa.br

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Manejo e Conservação do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, manoel.ricardo@embrapa.br

³Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Fertilidade do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, alvaro.resende@embrapa.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor em Estatística e Experimentação Agronômica, Pesquisador em Estatística da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, antoniocarlos.oliveira@embrapa.br

na safra 2010/11. Em geral, quando houve efeito da adubação N e K sobre as variáveis de análise centesimal, este foi positivo no sentido de aumentar as variáveis benéficas (celulose e hemicelulose) e diminuir as prejudiciais (lignina e cinzas). Os teores foliares de N, K e S e suas extrações tenderam a aumentar com as doses dos nutrientes em estudo, e os de P, Ca e Mg diminuir. Pelos resultados desta pesquisa, a máxima produtividade de matéria seca de sorgo foi obtida com 130 kg ha⁻¹ de N.

Termos para indexação: bioenergia, etanol de segunda geração, fertilização

Effect of Nitrogen and Potassium Coverage Fertilization in Biomass Sorghum

Flávia Cristina dos Santos¹

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho²

Álvaro Vilela de Resende³

Antônio Carlos de Oliveira⁴

Abstract

At a program of power generation from biomass plants, the productivity, quality of material and extraction of nutrients assume a relevant role, and in this context NK fertilization influences directly. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of NK fertilization coverage of sorghum biomass. Two experiments were carried out at Embrapa Maize and Sorghum with cultivars CMSXS 7020 and CMSXS 652, at 2010/11 and 2011/12 seasons, with doses from 0 to 240 kg ha⁻¹ of N and 0 to 180 kg ha⁻¹ of K₂O. The dry matter yield of CMSXS 7020 was not affected by the levels of nutrients, while the CMSXS 652 suffered quadratic effect in the 2010/11 harvest. In general, when there was the effect of N and K fertilization on the proximate analysis variables, this one was positive to increase the beneficial variables (cellulose and hemicellulose) and reduce harmful variables (lignin and ash). Foliar levels of N, K and S and their extractions tended to increase with doses of nutrients in the study, and P, Ca and Mg levels tended to decrease. For

the results of this research, the maximum dry matter yield of sorghum was obtained with 130 kg ha⁻¹ de N.

Index terms: bioenergy, second generation ethanol, fertilization

Introdução

Atualmente grande destaque tem sido dado para a produção de energia a partir de fontes limpas e renováveis, advindas, essencialmente, da produção agrícola. Nessa perspectiva, a produção de etanol de segunda geração merece destaque pela ampla variedade de biomassa de plantas e seus derivados dos quais ele pode ser produzido. O etanol, pela sua natureza, é reconhecido como um combustível “limpo”, biodegradável que produz menos poluentes do que o petróleo (STICKLEN, 2008).

Para a produção de biocombustível, o sorgo é uma das matérias-primas mais promissoras para a geração de etanol, por ser uma cultura de elevado teor de fibras e eficiência energética. Associado a isso, o sorgo pode ser explorado em larga escala e com grande adaptabilidade a diversas condições de clima e solo, destacando-se como o quinto maior cereal produzido no mundo, com ciclo curto de produção (quatro meses), menor exigência em água do que a cana-de-açúcar e o milho e boa tolerância à seca. Segundo Rooney e Miller (1982), o sorgo é, provavelmente, o mais eficiente produtor de energia acumulada da fotossíntese e pode fornecer a chave de um processo racional de fermentação alcoólica para produzir energia concentrada sob bases renováveis.

No momento, as pesquisas em tecnologias de geração de etanol estão também direcionadas para o etanol lignocelulósico

ou etanol de segunda geração. A produção de biocombustíveis lignocelulósicos envolve a produção e a coleta de biomassa, despolimerização dos polissacarídeos da parede celular (celulose e hemicelulose) em açúcares simples e fermentáveis, pelos processos de pré-tratamento e sacarificação, e conversão de açúcares simples em biocombustíveis pela fermentação (DAMASCENO et al., 2010).

Embora seja evidente o potencial da cultura para a produção de bioenergia, é preciso se atentar para algumas questões relevantes. Hill et al. (2009) concluem que as vantagens potenciais dos biocombustíveis dependem de aumentar a eficiência dos sistemas de produção nos cultivos e nas biorrefinarias. Outra preocupação relacionada aos biocombustíveis diz respeito ao balanço energético, uma vez que a produção de matéria-prima emprega grande quantidade de energia e insumos. Somente culturas de alta produção de biomassa em relação à adubação nitrogenada, como a cana-de-açúcar e o dendê, têm apresentado balanços altamente positivos (média de 8,7), enquanto outras culturas precisam ser melhoradas mediante seleção de variedades para alto rendimento e substituição ou redução da adubação (URQUIAGA et al., 2005).

Diante do exposto, o manejo nutricional deve ser cuidadosamente trabalhado, pois está diretamente envolvido no aumento de produtividade das culturas, qualidade de biomassa produzida e balanço de nutrientes no sistema solo-planta, entre outros.

O nitrogênio e o potássio são os dois nutrientes absorvidos e exportados em maiores quantidades pela grande maioria das

plantas, além de serem os principais elementos envolvidos no aumento de produtividade de biomassa. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da adubação NK de cobertura no sorgo biomassa.

Material e Métodos

Foram conduzidos quatro experimentos no Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, nas safras 2010/11 e 2011/12, sob irrigação. Os experimentos foram instalados em Latossolo Vermelho distroférico típico, com as seguintes características químicas e física: pH H₂O = 5,1, Al = 0,53; Ca = 2,6; Mg = 0,6; T = 9,8 (cmol_c dm⁻³); P = 2,1; K = 39,0 (mg dm⁻³); V = 30,0 %; teor de argila e matéria orgânica = 67,0 e 2,7 (dag kg⁻¹). O solo recebeu 3,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 95 %), no dia 22/12/2010, a fim de se corrigir a acidez, e elevar a saturação por bases a 60%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos de cada experimento, conduzidos com uma cultivar diferente, consistiram de um fatorial 4 x 4, envolvendo quatro doses de N (0, 80, 160 e 240 kg ha⁻¹) e quatro de K₂O (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) em cobertura. As parcelas foram constituídas por 4 linhas de 5 m de comprimento e espaçadas em 0,7 m. A parcela útil foi composta pelas duas linhas centrais de 4 m de comprimento, eliminando-se 0,5 m de bordadura em cada extremidade.

Foram utilizadas as variedades de sorgo CMSXS 7020 e CMSXS 652, tipos forrageiros e sensíveis ao fotoperíodo, prevendo um estande de 130.000 plantas por hectare. Na safra 2010/11 o plantio dos dois materiais foi realizado em 02/02/11. A adubação

de plantio foi de 500 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16+Zn, aplicados no sulco de semeadura, somados a 17,6 kg ha⁻¹ de ácido bórico. A adubação de cobertura com NK foi realizada aos 35 dias após o plantio, quando as plantas apresentavam 4 a 6 folhas completamente desenvolvidas. Utilizaram-se as fontes ureia e cloreto de potássio, aplicadas superficialmente e ao lado, à distância de 20 cm, das linhas de plantio. A colheita dos dois materiais foi realizada em 10/06/11.

Na safra 2011/12, o plantio foi realizado em 11/11/11 e as adubações (plantio e cobertura) foram as mesmas da safra anterior. A colheita do sorgo CMSXS 7020 foi realizada em 03/05/12 e a do CMSXS 652 em 16/05/12.

As variáveis avaliadas foram população de plantas na colheita (estande) (contagem do número de plantas da parcela útil), produtividade de matéria verde total (MVT) das plantas da parcela útil (corte das plantas de 2 linhas de 3 metros dentro da parcela útil e pesagem). Dessas, foram separadas 10 plantas para a determinação da matéria seca total (MST), mais cinco plantas para avaliação da produtividade de biomassa seca de colmos (COL), folhas (FOL) e panículas (PAN), o que propiciou determinar a porcentagem de cada componente em relação à produtividade total. O processo de secagem da matéria verde foi feito em estufa de ventilação forçada a 65 °C por cerca de cinco dias.

Foram avaliados também a composição centesimal da matéria seca dos materiais (fibra detergente neutro-FDN, fibra detergente ácido-FDA, lignina-LIG, celulose-CEL, hemicelulose-HEM e cinzas-CIN), os teores foliares de macronutrientes (20 folhas do terço médio das plantas coletadas por parcela útil no

estádio de emborrachamento) e foram estimadas as extrações de macronutrientes por hectare e por toneladas de matéria seca produzida.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), para testar os efeitos de N e K, sendo também ajustadas as regressões para os efeitos significativos, utilizando-se o programa estatístico SISVAR. Optou-se por fixar os valores das doses de N ou de K, quando da interação N x K significativa, para o ajuste das regressões.

Resultados

As variáveis estande, matéria seca de folhas, porcentagem de folhas, colmos e panículas não foram afetadas por nenhum dos tratamentos aplicados nos quatro experimentos.

A seguir, serão apresentados apenas os valores médios e as regressões das variáveis afetadas significativamente ao nível de 5% de probabilidade por, pelo menos, um dos tratamentos em estudo, separados por material e por safra.

- **CMSXS 7020 – Safra 2010/11**

No experimento conduzido com a cultivar CMSXS 7020, em 2010/11, as doses de N afetaram a MVT, a hemicelulose, os teores foliares de N, K, Ca, Mg, S e a extração de Mg por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 1 e 4). Embora a hemicelulose tenha tido efeito significativo das doses de N, não foi possível ajuste da equação de regressão (linear ou quadrática) ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1. Produtividade de matéria verde total (MVT), hemicelulose (HEM), teor foliar de N (NF), K (KF), Ca (CaF) e S (SF) e extração de Mg por tonelada de matéria seca produzida (Mgt) como variáveis das doses de N, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

N	MVT	HEM	NF	KF	CaF	MgF	SF	Mgt
kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	-----g kg ⁻¹ -----					kg t ⁻¹
0	26,12	25,70	31,38	14,20	8,56	4,00	2,03	1,90
80	29,85	25,40	31,95	25,30	8,42	3,72	2,05	1,81
160	30,56	26,18	32,04	15,47	8,11	3,46	2,13	1,59
240	28,10	24,33	32,71	15,58	7,79	3,20	2,09	1,68
C.V. %	13,28	6,20	1,84	6,45	5,97	12,01	4,21	13,24

As doses de K afetaram apenas os teores foliares de K e Ca, a extração de K por hectare e a extração de K e Mg por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 2 e 4).

Tabela 2. Teor foliar de K (KF) e Ca (CaF), extração de K por hectare (Kha), extração de K (Kt) e Mg (Mgt) por tonelada de matéria seca produzida como variáveis das doses de K₂O, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

K ₂ O	KF	CaF	Kha	Kt	Mgt
kg ha ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----		kg ha ⁻¹	-----kg t ⁻¹ -----	
0	14,47	8,43	123,61	10,59	1,79
60	14,95	8,28	141,57	11,46	1,89
120	14,89	7,83	154,22	12,55	1,67
180	16,23	8,34	144,74	10,94	1,63
C.V. %	6,45	5,97	16,66	13,84	13,24

A interação N x K afetou apenas os teores foliares de P (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Teor foliar de P, g kg⁻¹, como variável da interação N x K, com o respectivo coeficiente de variação (C.V.)

N	K ₂ O			
	0	60	120	180
0	2,94	3,21	3,22	3,24
80	3,08	3,14	3,04	3,18
160	3,48	3,11	3,16	3,16
240	2,98	3,22	2,88	3,33

C.V. % = 5,84

Tabela 4. Modelos de regressão ajustados para as diferentes variáveis com efeito significativo na análise de variância, em função das doses de nitrogênio e potássio.

Variável	Fonte de variação	Equação	R ²
MVT	N	$y = -0,0002^{**}N^2 + 0,0663^{**}N + 26,11$	0,99
N foliar	N	$y = 0,0051^{***}N + 31,41$	0,94
K foliar	N	$y = 0,0053^{**}N + 14,18$	0,76
	K	$y = 0,0086^{***}K + 14,35$	0,78
Ca foliar	N	$y = -0,0032^{***}N + 8,60$	0,97
	K	$y = 0,00004^{*}K^2 - 0,0095^{*}K + 8,49$	0,63
Mg foliar	N	$y = -0,0033^{***}N + 3,99$	0,99
S foliar	N	$y = 0,0003^{*}N + 2,04$	0,51
K extração por ha	K	$y = 0,1267^{*}K + 129,62$	0,58
K extração por t MS	K	$y = -0,0001^{*}K^2 + 0,0345^{**}K + 10,44$	0,80
Mg extração por t MS	N	$y = -0,0011^{**}N + 1,87$	0,70
	K	$y = -0,0011^{*}K + 1,84$	0,54
P foliar	N/K0	$y = -0,00002^{**}N^2 + 0,0066^{**}N + 2,87$	0,63

• **CMSXS 7020 – Safra 2011/12**

Na safra 2011/12 as doses de N afetaram apenas a porcentagem de cinzas e o teor foliar de N (Tabelas 5 e 8).

Tabela 5. Cinza (CIN) e teor foliar de N (NF) como variáveis das doses de N, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

N	CIN	NF
kg ha ⁻¹	%	g kg ⁻¹
0	3,48	28,77
80	3,54	29,28
160	3,23	30,58
240	3,14	30,05
C.V. %	10,38	5,50

As doses de K afetaram o FDA, CEL, extração de K por hectare e as extrações de N, K, Ca, Mg e S por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 6 e 8).

Tabela 6. Fibra detergente neutro (FDA), celulose (CEL), extração de K por hectare (Kha), extração de N (Nt), K (Kt), Ca (Cat), Mg (Mgt) e S (St) por tonelada de matéria seca produzida como variáveis das doses de K₂O, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

K ₂ O	FDA	CEL	Kha	Nt	Kt	Cat	Mgt	St
kg ha ⁻¹	-----%	-----	kg ha ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----
0	43,15	36,99	161,80	9,17	9,62	4,78	3,09	0,79
60	44,88	38,12	206,92	8,65	11,34	4,19	2,75	0,75
120	44,15	37,58	229,15	8,81	12,14	4,34	2,72	0,78
180	45,58	38,82	214,56	8,32	11,44	4,27	2,50	0,70
C.V. %	4,30	3,71	24,34	8,13	15,86	9,98	9,69	9,48

A interação N x K foi significativa apenas para os teores foliares de Mg (Tabelas 7 e 8)

Tabela 7. Teor foliar de Mg, g kg⁻¹, como variável da interação N x K, com o respectivo coeficiente de variação (C.V.)

N	K ₂ O			
	0	60	120	180
0	3,55	3,17	2,97	2,81
80	2,99	2,91	2,85	2,94
160	2,96	3,03	3,02	2,78
240	2,92	2,83	2,67	3,13

C.V. % = 7,65

Tabela 8. Modelos de regressão ajustados para as diferentes variáveis com efeito significativo na análise de variância, como variáveis das doses de nitrogênio e potássio.

Variável	Fonte de variação	Equação	R ²
CIN	N	$y = -0,0016^{**}N + 3,55$	0,79
N foliar	N	$y = 0,0064^{*}N + 28,89$	0,68
FDA	K	$y = 0,0109^{*}K + 43,45$	0,66
CEL	K	$y = 0,0083^{*}K + 37,13$	0,67
K extração por ha	K	$y = -0,0041^{*}K^2 + 1,0471^{**}K + 161,10$	0,99
N extração por t MS	K	$y = -0,0039^{*}K + 9,09$	0,76
K extração por t MS	K	$y = -0,0001^{*}K^2 + 0,0406^{**}K + 9,58$	0,99
Ca extração por t MS	K	$y = 0,00003^{*}K^2 - 0,0088^{*}K + 4,73$	0,78
Mg extração por t MS	K	$y = -0,0030^{***}K + 3,03$	0,91

S extração por t MS	K	$y = -0,0003 * K + 0,78$	0,56
Mg foliar	N/K0	$y = -0,0024 ** N + 3,39$	0,69
	K/N0	$y = -0,0041 *** K + 3,49$	

• CMSXS 652 – Safra 2010/11

Para o CMSXS 652 as doses de N afetaram a MVT, MST, matéria seca de colmo, os teores foliares de N e Ca, as extrações por hectare de N, P, K, Ca, Mg e S e as extrações por tonelada de matéria seca produzida de N e S (Tabelas 9 e 12).

Tabela 9. Produtividade de matéria seca total (MST), matéria seca de colmo (COL), teor foliar de N (NF), extração de P (Pha), Ca (Caha) e Mg (Mgha) por hectare e extração de N (Nt) e S (St) por tonelada de matéria seca produzida como variáveis das doses de N, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

N	MST	COL	NF	Pha	Caha	Mgha	Nt	St
kg ha ⁻¹	-----t ha ⁻¹ -----		g kg ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----			----kg t ⁻¹ ----	
0	11,13	25,92	33,75	5,11	42,73	30,82	6,49	0,56
80	13,02	32,66	33,34	7,77	49,20	42,59	7,21	0,64
160	14,06	33,53	32,41	7,39	51,69	41,71	7,08	0,61
240	11,76	28,43	34,80	6,00	42,71	29,82	8,00	0,66
C.V. %	18,49	18,93	5,73	30,54	19,52	34,30	14,38	31,15

As doses de K influenciaram a lignina, as cinzas, os teores foliares de P e a extração de K por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 10 e 12)

Tabela 10. Produtividade de matéria verde total (MVT), hemicelulose (HEM), teor foliar de N (NF), K (KF), Ca (CaF) e S (SF) e extração de Mg por tonelada de matéria seca produzida (Mgt) como variáveis das doses de K_2O , com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

K_2O	LIG	CIN	PF	Kt
kg ha ⁻¹	-----%-----		g kg ⁻¹	kg t ⁻¹
0	5,98	3,86	2,83	10,73
60	5,48	4,28	3,23	12,59
120	6,01	4,49	3,17	12,45
180	5,44	4,20	2,99	12,79
C.V. %	5,96	10,82	11,09	14,07

A interação N x K afetou a produtividade de matéria verde total, matéria seca de panícula, os valores de hemicelulose, os teores foliares de Ca e a extração de N, K e S por hectare (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11. Produtividade de matéria verde total (MVT), matéria seca de panícula (PAN), hemicelulose (HEM), teor foliar de Ca (CaF) e extração de N (Nha), K (Kha) e S (Sha) por hectare como variáveis da interação NxK, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

N	K ₂ O	MVT	PAN	HEM	CaF	Nha	Kha	Sha
----kg ha ⁻¹ -----	-----t ha ⁻¹ -----		%	g kg ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----			
0	0	29,75	0,48	25,54	7,12	56,24	102,87	5,85
0	60	33,98	0,34	26,59	6,79	80,48	135,10	6,56
0	120	26,98	0,36	27,53	6,65	61,47	102,84	4,89
0	180	36,57	0,75	26,83	6,14	89,62	169,65	7,66
80	0	38,13	0,33	25,97	6,83	86,14	136,15	7,15
80	60	35,15	0,37	28,09	6,10	89,29	137,83	7,87
80	120	54,36	0,91	25,19	5,95	124,23	228,88	11,34
80	180	34,04	0,54	27,14	6,43	78,77	152,94	7,28
160	0	37,76	0,47	27,83	6,26	91,46	157,34	8,05
160	60	43,18	0,38	25,42	6,37	106,34	192,36	9,12
160	120	37,45	0,54	28,15	6,03	88,51	142,22	7,84
160	180	42,29	0,48	28,00	5,57	108,81	179,46	9,30
240	0	36,01	0,39	27,85	5,72	103,07	142,60	8,55
240	60	35,45	0,54	28,50	5,66	94,33	168,52	7,90
240	120	33,43	0,36	27,16	5,07	88,48	144,12	7,23
240	180	33,65	0,47	26,77	6,20	88,69	153,20	7,20
C.V. %		18,49	38,64	4,26	7,11	20,07	23,81	19,98

Tabela 12. Modelos de regressão ajustados para as diferentes variáveis com efeito significativo na análise de variância, como variáveis das doses de nitrogênio e potássio.

Variável	Fonte de variação	Equação	R ²
MST	N	$y = -0,0001^{**}N^2 + 0,0429^{**}N + 11,00$	0,94
MSCOL	N	$y = -0,0001^{**}N^2 + 0,0352^{**}N + 8,25$	0,92
N foliar	N	$y = 0,0001^{*}N - 0,0235^{*}N + 33,94$	0,75
P extração por ha	N	$y = -0,0001^{**}N^2 + 0,0409^{**}N + 5,21$	0,95
Ca extração por ha	N	$y = -0,0006^{**}N^2 + 0,1479^{**}N + 42,34$	0,95
Mg extração por ha	N	$y = -0,0009^{**}N^2 + 0,2170^{**}N + 30,89$	0,99
N extração por t MS	N	$y = 0,0054^{**}N + 6,53$	0,83
S extração por t MS	N	$y = 0,0003^{**}N + 0,58$	0,64
LIG	K	$y = -0,0018^{*}K + 5,89$	0,21
CIN	K	$y = -0,00004^{*}K^2 + 0,0108^{**}K + 3,84$	0,98
P foliar	K	$y = -0,00004^{**}K^2 + 0,0079^{**}K + 2,84$	0,94
K extração por t MS	K	$y = 0,0100^{**}K + 11,23$	0,67
MVT	N/K120 K/N80	$y = -0,0012^{***}N^2 + 0,2974^{***}N + 29,84$ $y = -0,0012^{*}K^2 + 0,2286^{*}K + 35,04$	0,60 0,29
PAN	N/K120 K/N0 K/N80	$y = -0,00002^{**}N^2 + 0,0061^{**}N + 0,43$ $y = -0,00003^{*}K^2 + 0,0051^{**}K + 0,49$ $y = 0,0019^{*}K + 0,36$	0,70 0,99 0,32
HEM	N/K0	$y = 0,0109^{**}N + 25,48$	0,87
Ca foliar	N/K0 N/K60 N/K120 K/N240	$y = -0,0059^{***}N + 7,19$ $y = -0,0038^{*}N + 6,69$ $y = -0,0058^{***}N + 6,62$ $y = 0,00008^{*}K^2 - 0,0135^{*}K + 5,83$	0,98 0,71 0,85 0,61
N extração por ha	N/K0 N/K120 K/N80	$y = 0,1822^{**}N + 62,35$ $y = -0,0024^{**}N^2 + 0,6452^{**}N + 68,17$ $y = -0,0033^{*}K^2 + 0,6289^{*}K + 80,53$	0,89 0,55 0,49
K extração por ha	N/K120 K/N80	$y = -0,0048^{**}N^2 + 1,2102^{**}N + 117,90$ $y = -0,0053^{*}K^2 + 1,2059^{*}K + 123,32$	0,46 0,43
S extração por ha	N/K120 K/N80	$y = -0,0002^{***}N^2 + 0,0705^{***}N + 5,53$ $y = -0,0003^{*}K^2 + 0,0661^{**}K + 6,63$	0,61 0,55

- **CMSXS 652 – Safra 2011/12**

Na safra 2011/12, as doses de N tiveram efeito significativo sobre a produtividade de matéria verde e seca total, matéria seca de colmo, teor foliar de K, extração e S por hectare e extração de P por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 13 e 16). Ressalta-se que as produtividades de matéria seca total e de colmo não apresentaram ajuste de equações de regressão (linear ou quadrática).

Tabela 13. Produtividade de matéria verde total (MST), matéria seca total (MST), matéria seca de colmo (COL), teor foliar de K (KF), extração de S por hectare (Sha) e extração de P por tonelada de matéria seca produzida (Pt) como variáveis das doses de N, com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

N	MVT	MST	COL	KF	Sha	Pt
kg ha ⁻¹	-----t ha ⁻¹ -----			g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg t ⁻¹
0	60,58	19,51	13,52	13,81	11,40	1,12
80	75,67	26,09	17,99	14,00	14,62	0,96
160	69,35	22,19	15,44	14,60	13,59	1,02
240	78,65	24,73	17,34	15,65	15,17	0,92
C.V. %	17,17	24,26	24,82	8,88	22,95	16,64

Os tratamentos correspondentes às doses de K influenciaram apenas a extração de K por hectare e por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 14 e 16).

Tabela 14. Extração de K por hectare (Kha) e por tonelada de matéria seca produzida (Kt) como variáveis das doses de K_2O , com os respectivos coeficientes de variação (C.V.)

K_2O	Kha	Kt
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg t ⁻¹
0	162,10	7,14
60	185,85	8,72
120	195,57	8,90
180	238,67	9,35
C.V. %	26,55	13,05

A interação entre as doses de N e de K_2O afetou apenas a extração de S por tonelada de matéria seca produzida (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15. Extração de S por tonelada de matéria seca produzida, kg t⁻¹, como variável da interação N x K, com o respectivo coeficiente de variação (C.V.)

N	K_2O			
	0	60	120	180
0	0,56	0,61	0,57	0,60
80	0,50	0,66	0,61	0,52
160	0,63	0,58	0,60	0,64
240	0,65	0,58	0,64	0,59

C.V. % = 9,27

Tabela 16. Modelos de regressão ajustados para as diferentes variáveis com efeito significativo na análise de variância, como variáveis das doses de nitrogênio e potássio. CMSXS 652, safra 2011/12, Sete Lagoas, MG.

Variável	Fonte de variação	Equação	R ²
MVT	N	$y = 0,0598^{**}N + 63,87$	0,59
K foliar	N	$y = 0,0076^{***}N + 13,59$	0,90
S extração por ha	N	$y = 0,0128 * N + 12,15$	0,63
P extração por t MS	N	$y = -0,0006 * N + 1,08$	0,65
K extração por ha	K	$y = 0,3990^{**}K + 159,63$	0,93
K extração por t MS	K	$y = 0,0113^{***}K + 7,50$	0,83
S extração por t MS	N/K0	$y = 0,0005^{**}N + 0,52$	0,54
	K/N80	$y = -0,00001^{***}K^2 + 0,0031^{***}K + 0,50$	0,93

Discussão

O baixo estande do CMSXS 7020 (108.571 plantas ha⁻¹) e do CMSXS 652 (95.714 plantas ha⁻¹) da safra 2010/11 somado ao plantio tardio (fevereiro de 2011) refletiram numa baixa produtividade de matéria verde e seca do CMSXS 7020 (médias de 28,66 e 12,46, respectivamente) e do CMSXS 652 (médias de 36,76 e 12,49, respectivamente). A época de plantio mais indicada para materiais sensíveis ao fotoperíodo é de outubro

até meados de dezembro, quando o sorgo pode expressar melhor o seu potencial produtivo. Dados de Parrella et al. (2010), em pesquisa com os mesmos materiais plantados em novembro (Sete Lagoas) e dezembro (Nova Porteirinha), Minas Gerais, no ano de 2009, resultaram em produtividades médias de matéria seca de 22,71 t ha⁻¹ para o CMSXS 7020, considerando os dois locais. Essa produtividade de matéria seca supera as produtividades relatadas para cultivares de sorgo forrageiro comerciais existentes no mercado, que estão em torno de 15 a 20 t ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2008; SKONIESKI et al., 2010) e também os resultados médios de matéria seca deste trabalho para o CMSXS 7020 obtidos nas safras 2010/11 e 2011/12 (12,46 e 18,36 t ha⁻¹, respectivamente).

Contudo, os resultados da produtividade de matéria seca total dos materiais na safra 2011/12 (média de 18,36 e 23,13 t ha⁻¹ para o CMSXS 7020 e CMSXS 652, respectivamente) se aproximam de outros trabalhos com investigação do potencial de sorgo para produção de biocombustíveis, como no de Hoffmann Jr. e Rooney (2012), que obtiveram uma média de 23,53 t ha⁻¹ de matéria seca, envolvendo seis genótipos de sorgo lignocelulósico; e no de Amaducci et al. (2000), em que o sorgo produziu 26,2 t ha⁻¹ de matéria seca, superando as produtividades do milho, kenaf e cânhamo.

O ciclo do CMSXS 7020 e CMSXS 652 obtido nesta pesquisa na safra 2010/11 foi de cerca de 128 dias após o plantio, com ocorrência do florescimento aos 76 dias. Enquanto na safra 2011/12, o ciclo dos materiais foi de cerca de 180 dias após o plantio, com florescimento por volta de 155 dias. Nos trabalhos de Parrella et al. (2010, 2011), os materiais floresceram com 147 dias (média dos dois locais) e 138 dias (média de três locais),

respectivamente, ou seja, passaram bem mais tempo no campo acumulando biomassa, à semelhança do que ocorreu com os materiais deste trabalho na safra 2011/12. Essa variação de ciclo dos materiais sensíveis ao fotoperíodo é um fator positivo a ser explorado no cultivo do sorgo para potencializar a produção de biomassa e que, aliada a outras características, evidencia quão promissor é o sorgo para a produção de biocombustíveis.

Como a matéria seca do CMSXS 652, na safra 2010/11, foi afetada pelas doses de N, com ajuste de equação quadrática (Figura 1), é possível determinar que a máxima produtividade de MST ($13,81 \text{ t ha}^{-1}$) foi obtida com a dose de $130,95 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Da mesma forma, a dose de máxima eficiência econômica (90% da máxima eficiência física) seria de $39,04 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, evidenciando que, nas condições desse experimento, o custo com adubação nitrogenada poderia ser bem reduzido, sem afetar significativamente a produtividade de matéria seca do sorgo. A liberação de N da matéria orgânica do solo (cada 1 dag kg^{-1} de matéria orgânica pode fornecer cerca de 30 kg ha^{-1} de N (SOUSA; LOBATO, 2004) – solo com $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$ de matéria orgânica = 81 kg ha^{-1} de N), aliada à esperada liberação de N do resíduo vegetal existente na área (dados não medidos) e à extração de cerca de 90 kg ha^{-1} de N (Tabela 11), pode justificar essa baixa resposta do sorgo ao N do fertilizante. Adicionalmente, o sorgo é reconhecido pela alta eficiência na utilização do N (GARDNER et al., 1994; MARANVILLE; MADHAVAN, 2002), sendo que Barbanti et al. (2006) relatam que o sorgo pode produzir cerca de 20 t ha^{-1} de matéria seca apenas com a reserva de N do solo.

Percebe-se que, de maneira geral, a produtividade de matéria seca das plantas foi pouco afetada pelas doses de N, assim, os

resultados obtidos neste trabalho, em parte, corroboram os de Rodrigues Filho et al. (2006), em estudo com quatro híbridos de sorgo forrageiro, que não encontraram diferença significativa ($p < 0,05$) na produção de matéria verde e seca em função das doses de N entre 50 e 100 kg ha⁻¹, cujas médias foram de 59,32 e 15,17 t ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, há relatos de produtividade de matéria seca bem mais elevada com plantios de sorgo biomassa em condições experimentais (60 a 90 t ha⁻¹, dados não publicados), quando plantado em época mais adequada (setembro, outubro) e com cerca de 120 kg ha⁻¹ de N, de forma que se pode inferir que a predominância de falta de resposta dos materiais estudados às doses de N e K pode ser justificada, em parte, pelo plantio fora da época mais indicada para a cultura, quando o sorgo poderia expressar melhor o seu potencial produtivo. Ou seja, se plantados mais cedo, os materiais acumulariam mais biomassa e, conseqüentemente, aumentariam a demanda em nutrientes e seria esperada resposta mais pronunciada às doses de N e K.

Além da produtividade de matéria seca, outra variável importante quando se fala em sorgo biomassa é a produtividade de matéria seca de colmo, pois esse compartimento da planta é um dos que proporciona o maior rendimento na transformação da biomassa em biocombustível. Essa variável foi afetada apenas pelas doses de N no material CMSXS na safra 2010/11, com ajuste de equação quadrática (Tabelas 9 e 12).

Adicionalmente, a qualidade da biomassa produzida interfere também no processo de conversão energética. A celulose e hemicelulose são os principais componentes da biomassa que, sob hidrólise enzimática, produzem açúcares fermentáveis

para a produção de biocombustíveis (NAGAIH et al., 2012). Dessa forma, valores maiores desses componentes são desejáveis na biomassa do sorgo. Por outro lado, esperam-se valores menores de lignina e cinzas para se obter um melhor rendimento em biocombustível.

A lignina é um componente estrutural da parede celular que dá sustentação às plantas e também proteção ao ataque de pragas. A lignina pode afetar o processo de sacarificação da biomassa em açúcares fermentáveis de duas maneiras: ela pode adsorver irreversivelmente as enzimas hidrolíticas, bloqueando sua ação na celulose (CONVERSE, 1993; PALONEN et al., 2004), e, por ser hidrofóbica, pode também prevenir que a fibra celulósica se entumeça, o que diminui a área de superfície acessível às enzimas (MOONEY et al., 1998). Com isso, há necessidade de maiores concentrações das enzimas para o processamento da biomassa, tornando-o economicamente inviável. As cinzas decrescem a eficiência da combustão porque diminuem a transferência de calor (BURNER et al., 2009).

De maneira geral, quando houve efeito da adubação NK sobre as variáveis de análise centesimal, evidencia-se efeito positivo no sentido de aumentar as variáveis benéficas (CEL e HEM – Figura 2 A e D) e diminuir as prejudiciais (Figuras 2 B e C). Isso mostra a importância da adubação, não apenas no aumento de produtividade, mas também na melhoria da qualidade do material, que favorece o processo de conversão de matéria seca em biocombustíveis.

Nesse trabalho, a porcentagem de lignina do CMSXS 7020, considerando as duas safras, variou de 5,4 a 7,5, com média de 6,4; e o CMSXS 652 teve a porcentagem de lignina variando

de 5,1 a 7,3 e valor médio de 6,2. Trabalho de Amaducci et al. (2000) encontrou valor médio de lignina para o sorgo em torno de 8,0%, ou seja, acima dos valores encontrados para os materiais em estudo nessa pesquisa. Os mesmos autores obtiveram valores de 39-47% de celulose e de 26-29% de hemicelulose para o sorgo; enquanto nesse trabalho os valores de celulose variaram de 35,6-40,6% para o CMSXS 7020 e de 33,3-41,2% para o CMSXS 652, considerando as duas safras. Enquanto na pesquisa de Nagaiah et al. (2012), os valores de lignina se estenderam de 6,2-8,1%, os de celulose de 27-52% e de hemicelulose de 17-23%. A comparação da amplitude de valores para esses três principais componentes da matéria seca do sorgo mostra que não há uma variação muito grande e o trabalho de Serna-Saldívar et al. (2012) resultou em valores bem mais baixos de lignina (7,0%) e cinzas (0,7%) do sorgo biomassa em comparação com cana, milho, trigo e arroz. Por outro lado, o sorgo biomassa foi um pouco inferior quando avaliadas a celulose e hemicelulose, nessa última superando apenas a cana-de-açúcar. Esses resultados, em parte, reforçam o potencial do sorgo para produção de biocombustíveis, uma vez que sua biomassa apresenta características favoráveis à conversão energética.

Os valores dos teores foliares dos macronutrientes variaram dentro da faixa adequada para a cultura do sorgo (MARTINEZ et al., 1999), à exceção dos teores foliares médios do P, que se encontram abaixo dos níveis críticos para a cultura, que é de 4,4 g kg⁻¹. Como o teor de P disponível no solo estava muito baixo (2,1 mg dm⁻³) foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, objetivando fornecer quantidade adequada desse nutrientes à plantas. Entretanto, pelos teores foliares de P, aparentemente a demanda não foi atendida com a aplicação do fertilizante e esse

pode ser mais um fator para justificar a produtividade baixa dos materiais, bem como a pouca resposta em produtividade de biomassa às doses de N e K.

De maneira geral, os teores foliares foram mais afetados pelas doses de N do que de K (Tabelas 1 a 5, 7 a 13 e 16), com a adubação tendendo a aumentar os teores dos elementos alvo (N e K) e diminuir os teores de Ca e Mg na folha (Tabelas 1 a 5, 7 a 13 e 16), o que se explica pela competição existente entre esses íons por sítios de absorção (MARSCHNER, 1997).

Analisando os dados de extração de nutrientes por hectare, nota-se pouco efeito dos tratamentos sobre esta variável e, quando significativo, houve predomínio de ajuste de equações de regressão lineares, considerados os elementos alvos (N e K), e quadráticos quando considerados os demais (Tabelas 4, 8, 12 e 16), mostrando um efeito direto aumento de dose-aumento de extração na primeira situação e de aumento de dose-aumento de extração até determinado patamar, a partir do qual a extração começa a decair, possivelmente por causa da competição por sítios de absorção nas células radiculares, conforme já comentado.

Percebe-se ainda que, em média, houve maior extração de todos os nutrientes na safra 2011/12 para os dois materiais e isso pode ser justificado, em parte, pela maior produtividade e, conseqüentemente, maior demanda em relação à safra 2010/11. Em ordem decrescente, o potássio foi o nutriente extraído em maiores quantidades, (cerca de 150 kg ha^{-1} na safra 2010/11 e 200 kg ha^{-1} na safra 2011/12, média dos dois materiais) seguido pelo N (90 e 170 kg ha^{-1}), Ca (45 e 73 kg ha^{-1}), Mg (29 e 55 kg ha^{-1}).

¹), P (6 e 23 kg ha⁻¹) e S (8 e 14 kg ha⁻¹) (safras 2010/11 e 2011/12, respectivamente, e média dos dois materiais).

Em relação à extração de nutrientes por tonelada de matéria seca produzida, quando houve efeito significativo da adubação N e K, predominantemente foi no sentido de aumentar a extração de N, K e S por tonelada de matéria seca produzida e diminuir a de P, Ca e Mg (Tabelas 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 12 a 16).

Pela quantidade extraída de nutriente por tonelada de matéria seca produzida, considerando apenas os macronutrientes primários (N, P e K), percebe-se que para uma produtividade de cerca de 35 t ha⁻¹ de matéria seca, considerada adequada para a lucratividade da produção de biocombustíveis a partir de biomassa vegetal, seriam necessários 280 kg de N, 80 kg de P₂O₅ e 420 kg de K₂O (média dos quatro experimentos deste trabalho), ou seja, quantidades muito elevadas e que inviabilizariam a atividade do ponto de vista econômico apenas. Entretanto, dessa quantidade deve ser subtraída a oferta existente no solo e na palhada das culturas de cobertura ou antecessoras ao sorgo. Outro ponto a ser considerado é que se espera maior eficiência das plantas mais produtivas, ou seja, redução do seu coeficiente de utilização biológica com o aumento da produtividade, como mostrado em trabalho de Carvalho (2000), Santos et al. (2008), para as culturas do milho e da soja, respectivamente, por exemplo. Em relação aos nutrientes N e K, é possível também pensar em um consumo de luxo, pois os teores de nutrientes nas folhas estavam acima do nível adequado, o que eleva a extração de nutrientes.

A própria origem africana do sorgo evidencia sua eficiência nutricional, uma vez que os solos da África são

predominantemente pobres em nutrientes. O que não se pode desconsiderar é que, mesmo sendo eficiente na absorção e utilização de nutrientes, o sorgo precisa receber doses de fertilizantes para obtenção de produtividades satisfatórias (RESENDE et al., 2009).

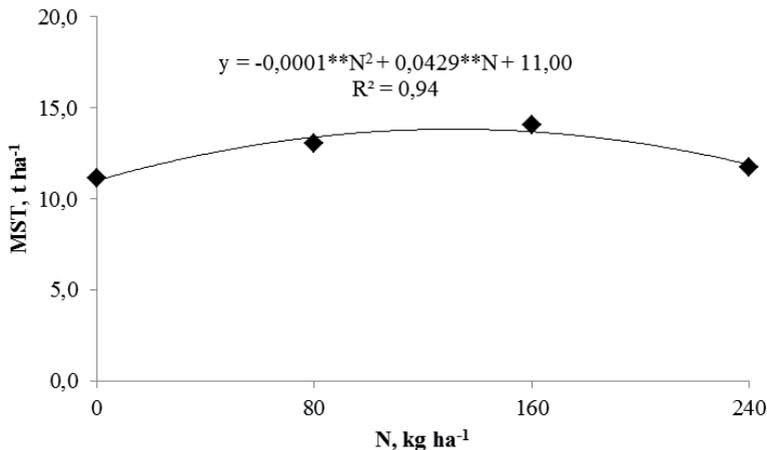


Figura 1. Produtividade de matéria seca total (MST) como variável das doses de N. CMSXS 652, safra 2010/11, Sete Lagoas, MG.

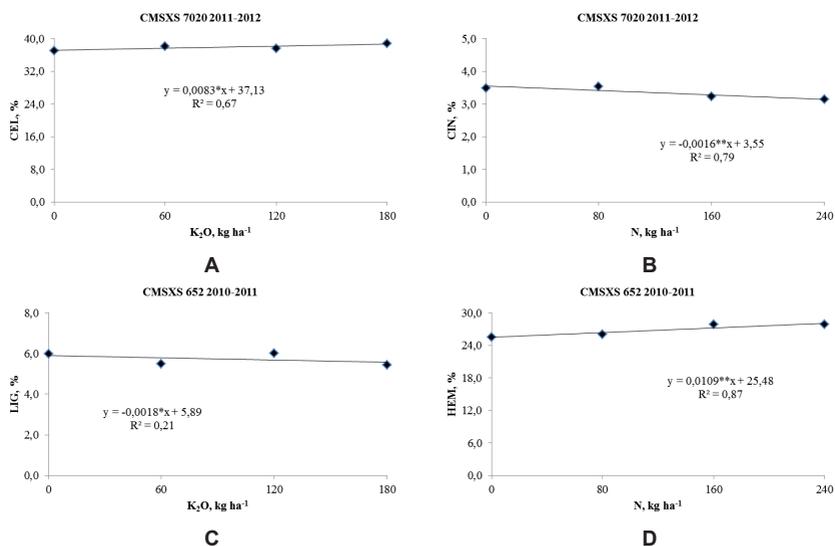


Figura 2. Gráficos das variáveis de análise centesimal. Sete Lagoas, MG.

Conclusões

Pelos resultados obtidos neste trabalho, a máxima produtividade de matéria seca de sorgo biomassa foi obtida com 130 kg ha⁻¹ de N. Adicionalmente, esta dose resulta em adequada nutrição da planta e de sua composição centesimal para a produção de etanol de segunda geração. A produtividade de matéria seca do sorgo não foi afetada pelas doses de K.

Agradecimentos

À Fapemig pelo apoio financeiro.

Referências

AMADUCCI, S.; AMADUCCI, R.; BENATI, R.; VENTURI, G. Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. **Industrial Crops and Products**, v. 11, p. 179-186, 2000.

BARBANTI, L.; GRANDI, S.; VECCHI, A.; VENTURI, G. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. **European Journal of Agronomy**, v. 25, p. 30-39, 2006.

Burner, D. W.; Tew, T. L.; Harvey, J. J.; Belesky, D. P. Dry matter partitioning and quality of *Miscanthus*, *Panicum*, *Saccharum* genotypes in Arkansas, USA. **Biomass Bioenergy**, v. 33, p. 610-619, 2009.

CARVALHO, F.T. **Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho**. 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CONVERSE, A. O. Substrate factors limiting enzymatic hydrolysis. In: SADDLER, J. N. (Ed.). **Bioconversion of forest and agricultural plant residues**. Wallingford: CAB International, 1993. p. 93-105.

DAMASCENO, C. M. B.; SOUSA, S. M. de; NODA, R. W.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHAES, J. V. de. **A importância da lignina para a produção de etanol de segunda geração**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 108).

GARDNER, J. C.; MARANVILLE, J. W.; PAPAROZZI, E. T. Nitrogen use efficiency among diverse sorghum cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 728-733, 1994.

HILL, J.; POLASKY, S.; NELSON, E.; TILMAN, D.; HUO, H.; LUDWIG, L.; NEUMANN, J.; ZHENG, H.; BONTA, D. Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 6, p. 2077-2082, 2009.

HOFFMANN JR., L.; ROONEY, W. L. Accumulation of biomass and compositional change over the growth season for six photoperiod sorghum lines. In: SUN GRANT NATIONAL CONFERENCE: SCIENCE FOR BIOMASS FEEDSTOCK PRODUCTION AND UTILIZATION, 2012, New Orleans. Proceedings... Knoxville: The Southeastern Regional Sun Grant Center, 2012. Chapter 3. Conversion Technology, Disponível em: <<http://sungrant.tennessee.edu/NatConference/ConferenceProceedings/CONVERSION+TECHNOLOGY.htm>>. Acesso em: 14 maio 2013.

MARANVILLE, J. W.; MADHAVAN, S. Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum. **Plant and Soil**, The Hague, v. 245, p. 25-34, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1997. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P.T. G.; ALVAREZ V., V. H. (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.

MOONEY, C. A.; MANSFIELD, S. D.; TOUHY, M. G.; SADDLER, J. N. The effect of initial pore volume and lignin content on the enzymatic hydrolysis of softwoods. **Bioresource Technology**, Essex, v. 64, p. 113-119, 1998.

NAGAI AH, D.; SRINIVASA RAO, P.; PRAKASHAM, R. S.; UMA, A.; RADHIKA, K.; BARVE, Y.; UMAKANTH, A. V. High biomass sorghum as a potential raw material for biohydrogen production: a preliminar avaluation. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 6. p. 183-189, 2012.

PALONEN, H.; TJERNELD, F.; ZACCHI, G.; TENKANEN, M. Adsorption of *Trichoderma reesei* CBH I and EG II and their catalytic domains on steam pretreated softwood and isolated lignin. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 107, p. 65-72, 2004.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 119).

RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, p. 37-48, 2006.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. da S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655**: híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 107).

ROONEY, L. W.; MILLER, F. R. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM GRAIN QUALITY, 1982, Patancheru, India. **Proceedings...** Patancheru: ICRISAT, 1982. p. 143-162.

SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1661-1674, 2008.

SERNA-SALDÍVAR, S. O.; CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; PÉREZ-CARRILLO, E.; EREDIA-OLEA, E. Sorghum as a multifunctional crop for the production of fuel ethanol: current status and

future trends. In: LIMA, M. A. P. (Ed.). **Bioethanol**. Rijeka: In Tech, 2012. p. 51-74. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/bioethanol/sorghum-as-a-multifunctional-crop-for-the-production-of-fuel-ethanol-current-status-and-future-trend>>. Acesso em: 14 maio 2013.

SKONIESKI, F.; NORBERG, J.; AZEVEDO, E.; DAVID, D.; KESSLER, J.; MENEGAZ, A. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/7200>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, L. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STICKLEN, M. B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 9, p. 433-443, 2008.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 14, n. 5, p. 42-46, 2005.

Embrapa

Milho e Sorgo



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE - 10885