

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 152

Cultivo do Sorgo Biomassa para a Cogeração de Energia Elétrica

Editores Técnicos

André May

Dagma Dionísia da Silva

Flávia Cristina dos Santos

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: André May

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**

Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica /
editores técnicos André May, Dagma Dionísia da Silva, Flavia
Cristina dos Santos. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo,
2013.

65 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-
4277; 152).

1. Sorgo. 2. Recurso energético. 3. Bioenergia. I. May, André. II.
Silva, Dagma Dionísia da. III. Santos, Flávia Cristina dos. IV. Série.

CDD 633.174 (21. ed.)

© Embrapa 2013

É importante o produtor compreender que o controle químico deve ser utilizado como um método complementar. Neste sentido, deve-se priorizar o controle cultural, uma vez que este possibilita as melhores condições de desenvolvimento da cultura, fazendo com que ela tenha uma vantagem competitiva sobre a comunidade infestante.

Qualidade da Matéria-Prima

Patrícia Abrão de Oliveira

Embrapa Agroenergia, Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (final), Brasília, DF - CEP 70770-900, patricia.oliveira@embrapa.br

Na indústria sucroenergética, as centrais de cogeração operam produzindo energia a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar para atender à demanda térmica e elétrica das usinas. O excedente de energia elétrica produzida constitui uma grande oportunidade de negócios deste setor. Tradicionalmente, estas usinas operam com sazonalidade por causa dos períodos de entressafra de cana-de-açúcar, quando não há produção industrial e as usinas tornam-se consumidoras de eletricidade para manterem suas cargas essenciais e seus sistemas de irrigação da lavoura (BARJA, 2006).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2006), a cogeração contribui com a racionalidade energética, possibilitando um melhor aproveitamento e menor consumo de fontes de energia, quando comparada à geração individual de calor e energia elétrica, gerando consequentes benefícios para a sociedade. Assim, é importante que a utilização de centrais termoelétricas cogedoras seja incentivada, bem como a produção de biomassa para este fim.

Qualidade da Matéria-Prima para Energia

Inúmeras culturas dedicadas para energia têm sido avaliadas para serem utilizadas comercialmente. De modo geral, as características desejáveis para uma cultura energética são: alta produtividade, baixo consumo de energia para seu cultivo, baixo custo de produção, composição com o mínimo de contaminantes e baixa necessidade de nutrientes. Uma vez que uma biomassa tenha o seu cultivo viabilizado em relação a estes fatores, ela deverá ser avaliada no que diz respeito aos processos de conversão para os quais se destinam.

O desempenho de uma biomassa em determinado processo está intimamente relacionado com suas características químicas e estruturais. De modo geral, as principais características de interesse de uma biomassa relacionadas com o seu processamento para produção de biocombustíveis e energia são: teor de umidade, poder calorífico, teores de carbono fixo e volátil, teor de cinzas, teor de metais alcalinos, teor de celulose, hemicelulose e lignina (McKEN-DRY, 2002).

Sorgo Biomassa para Cogeração

O sorgo biomassa é uma matéria-prima de alta produtividade e baixo custo de produção e, por isso, tem se tornado cada vez mais promissora para a produção de energia. Em relação às características químicas relacionadas ao desempenho de uma matéria-prima em processos de combustão (poder calorífico, teores de carbono fixo e volátil, teor de cinzas, teor de metais alcalinos), o sorgo biomassa possui, de modo geral, resultados que se assemelham a outras gramíneas dedicadas para energia.

Dentre os fatores que podem influenciar no processo de cogeração, o teor de umidade é considerado de grande relevância. É desejável

que as biomassas submetidas a processos de combustão possuam baixos teores de umidade, para que o balanço energético do processo de conversão não seja impactado negativamente (McKEN-DRY, 2002). O sorgo biomassa, bem como as outras gramíneas, pode apresentar altos teores de umidade (maiores que 50%) após a colheita, mas a influência desta característica deverá ser minimizada por meio de técnicas adequadas de cultivo, escolha de melhor época e método de colheita e seleção de variedade melhorada para fins de cogeração.

O teor de umidade pode ser reduzido por meio de processo de secagem pós-colheita, in natura ou mecanizado, e, após esta etapa, o material pode ser encaminhado para um processo de compactação. Apesar de ser desejável que o sorgo biomassa seja colhido com baixa umidade para possibilitar a sua queima direta, os processos de briquetagem e peletização, após secagem, podem ser considerados interessantes por resultarem em produtos com maior densidade energética e viabilizarem o transporte da matéria-prima em longas distâncias.

Sorgo Biomassa para Etanol de Segunda Geração

A conversão de biomassa lignocelulósica em etanol é realizada por meio de processo que envolve um pré-tratamento seguido de tratamento enzimático para liberar os açúcares estruturais a serem utilizados na fermentação. A eficiência deste processo de conversão é dependente de inúmeros fatores intrínsecos à biomassa que a deixa mais ou menos recalcitrante às enzimas e aos microrganismos fermentadores.

O sorgo biomassa possui teores médios de celulose e lignina entre 31,1-29,3% e 14,3-7,6%, respectivamente, que podem variar de

acordo com o genótipo e a época de colheita (HOFFMAN; ROONEY, 2012; ROONEY et al., 2007). A alta produtividade aliada ao elevado teor de celulose torna o sorgo biomassa uma cultura indicada para a produção de etanol de segunda geração (DAHLBERG et al., 2011). Para que o processo de desconstrução ocorra com maior eficiência, é fundamental a utilização de variedades de sorgo biomassa adaptadas às condições edafoclimáticas da região e melhoradas para produção de etanol. Fatores como teor e composição da lignina, índice de cristalinidade e porosidade da celulose, produção de inibidores (FOSTON; RAGAUSKAS et al., 2012) podem ser utilizados como parâmetros para o melhoramento do sorgo biomassa para etanol de segunda geração.

Novos genótipos de sorgo biomassa serão importantes para atender à crescente demanda por biomassas dedicadas à produção de biocombustíveis e energia. Desta forma, os produtores e as empresas do ramo agrícola/industrial poderão contar com uma matéria-prima com alta produtividade e com características que permitem um bom desempenho nos processos de cogeração e produção de etanol.

Custo de Produção

Rubens Augusto de Miranda

Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424, km 65, Caixa Postal 285, CEP 35.701-970, Sete Lagoas, MG, rubens.miranda@embrapa.br

Dentre as diversas fontes para produção de energia, a biomassa consiste em uma das que possui maior potencial de crescimento nos próximos anos. Dado o fato de que a biomassa pode ser utilizada para a produção de biocombustíveis e energia elétrica, tem-se tratado dela como um componente estratégico de grande importância. Nesse sentido, a biomassa é utilizada tradicionalmen-

te por alguns setores industriais para a cogeração de energia, ou seja, a partir de algum subproduto da matriz produtiva é possível gerar energia elétrica, tornando o processo industrial mais sustentável. Adicionalmente, tem surgido um mercado no qual a geração de energia é o negócio principal, cuja viabilidade vai depender dos preços da energia no atacado.

Para avaliação do sorgo biomassa, considerando essa perspectiva, foi realizado levantamento dos custos de produção da cultura com foco nesse nicho de mercado, abrangendo, não apenas os custos agrícolas, mas também os custos de oportunidade do plantio da cultura.

Na mensuração dos custos agrícolas do sorgo para a geração de energia foram consideradas cinco etapas de custeio: 1) preparo do solo; 2) plantio; 3) condução da lavoura; 4) colheita e transporte e 5) arrendamento e remuneração de capital. As quatro primeiras tabelas estão relacionadas ao custo operacional, e a última etapa refere-se à remuneração dos fatores.

Tabela 7. Custo do preparo do solo de sorgo biomassa.

Operação	Descrição	Rendimento		Valores	
		valor	unidade	unitário	uso (R\$/ha)
Gradagem Pesada	Trator 240 CV	1,60	h/ha	90,34	144,54
Distribuição de Calcário	Calcário	1,00	t/ha	102,00	102,00
	Trator 180 CV	1,00	h/ha	71,80	71,80
Grade Niveladora	Trator 180 CV	1,20	h/ha	71,80	86,16
Total					404,50

Tabela 8. Custo do plantio de sorgo biomassa.

Operação	Recurso	Rendimento		Valores	
		valor	unidade	unitário	uso (R\$/ha)
Semeadura	Trator - 85 hp com plantadeira de 9 linhas	0,80	h/ha	82,81	66,25
	Fórmula 04-30-16	0,45	t/ha	1.178,50	530,33
	Mão-de-obra	0,10	diárias/ha	60,00	6,00
Sementes de sorgo		4,00	kg/ha	35,00	140,00
Tratamento das sementes	Cropstar	0,04	lts/ha	169,00	6,76
Auxiliares no trat. de sementes/plantio	Mão-de-obra	0,25	diárias/ha	60,00	15,00
Total					764,33

Tabela 9. Custo da condução da lavoura de sorgo biomassa.

Operação	Recurso	Rendimento		Valores	
		valor	unidade	unitário	uso (R\$/ha)
Aplicação de Fungicidas	Trator -100 hp	0,60	h/ha	60,00	36,00
	Fungicida Óprera	0,75	l/ha	8,57	6,43
Aplicação de Herbicida	Trator -100 hp	0,60	h/ha	60,00	36,00
	Herbicida Atrazina	2,00	l/ha	8,20	16,40
Aplicação de Inseticidas	Trator -100 hp	0,60	h/ha	60,00	36,00
	Inseticida Lannate	3,60	l/ha	16,70	60,12
Adubação de cobertura	Mão-de-obra adub	0,0625	diárias/ha	60,00	3,75
	Trator -100 hp	0,50	h/ha	60,00	30,00
	fórmula 20 00 20	0,40	t/ha	1.068,00	427,20
Total					612,95

A Tabela 10 trata dos custos vinculados à colheita e ao transporte. É importante ressaltar que o custo do transporte terceirizado do sorgo pode oscilar consideravelmente entre as regiões do País, podendo ser um dos “gargalos” dos custos de produção da cultura. Nesse sentido, um dos pontos que precisa ser buscado no sistema de produção do sorgo biomassa é a diminuição do transporte de massa verde (no cálculo desse trabalho foram consideradas 100 t ha⁻¹), ressaltando que as usinas estão interessadas na matéria seca.

Assim, uma opção pode ser a aplicação de dessecante, que mesmo a um custo adicional, irá propiciar redução nos custos de transporte do sorgo, e, conseqüentemente, no custo total de produção.

Tabela 10. Custo da colheita e transporte do sorgo biomassa.

Operação	Recurso	Rendimento		Valores	
		valor	unidade	unitário	uso (R\$/ha)
Corte de sorgo - mecânica	Colhedora	0,80	h /ha	220,00	176,00
Reboque de julietas	Reboque de Julietas	100,00	t/t	1,98	198,00
Transporte de sorgo - biminhão	Serviço Terceirizado	100,00	t/t	4,80	480,00
Total					854,00

As quatro primeiras etapas de custeio anteriores compõem o custo operacional de produção do sorgo biomassa. Para a mensuração do custo de produção total também foram consideradas a remuneração dos fatores terra e capital; o cálculo deste último foi feito a partir da taxa de 6% sobre o custeio operacional.

Tabela 11. Custeio geral do sorgo biomassa.

	R\$/ha	%
Preparo do solo	404,50	11,92%
Plantio	764,33	22,52%
Tratos culturais	612,95	18,06%
Colheita	374,00	11,02%
Transporte	480,00	14,14%
Custo operacional total	2.635,78	77,66%
Arrendamento	600,00	17,68%
Remuneração do capital	158,15	4,66%
Custo Total	3.393,93	100,00%

O custo de produção total no valor de R\$ 3.393,93 por hectare é estimado para a produção de 35 toneladas de matéria seca, enquanto o custo operacional total foi de R\$ 2.635,78. Ressalta-se a participação considerável do arrendamento no custo total (17,68%). Mesmo na situação de posse da terra, o custo do arrendamento precisa ser incorporado a título de custo de oportunidade.

Considerando que na média 1 kg de massa seca de sorgo biomassa é capaz de gerar 3.000 kcal, os referidos custos de produção relacionam-se à produção de 105.000.000 Kcal ha⁻¹. Tendo por base a taxa de conversão de 0,001163 KWH Kcal⁻¹, as 35 toneladas de sorgo biomassa são capazes de produzir 122,1 megawatts (MW) de energia. Considerando a produção de energia por hectare plantado de sorgo e dos custos de produção apresentados, o negócio passa a pagar os custos agrícolas a partir de R\$ 27,79 MW.

Uma das características do mercado atacadista de energia é a variabilidade temporal e regional dos preços, que podem prejudicar a rentabilidade, ou mesmo inviabilizar o negócio, dependendo

da região e da época. Para ilustrar essa ideia, os preços médios pagos no atacado pelo MW no Brasil em 2011 ficaram em torno de R\$ 28,90, que pagam somente os custos de produção agrícola do sorgo biomassa de 2013. Mas, dado que também existem os custos industriais da geração de energia, o negócio restrito para a venda de energia incorreu em prejuízos. Entretanto, em 2012, a média dos preços de energia no atacado no Brasil foi R\$ 164,06, o que, com tudo o mais constante, configurou investimento que pagou os custos agrícolas e também os industriais, gerando um resultado positivo, a princípio. É preciso relativizar o resultado rentabilidade final da produção de energia, pois não se consideraram os altos custos industriais da produção de energia elétrica a partir da biomassa, maiores que os custos agrícolas. Dependendo da rota tecnológica de geração de energia utilizada pela indústria (dentre as quais merecem destaque o ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, o ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração, e o ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa), tais custos industriais podem oscilar consideravelmente.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 235, de 14 novembro de 2006. Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogradoras de energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 nov. 2006. Seção 1, p. 78.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. 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. p. 43-60.

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.

BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D. Doenças foliares. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_8_ed/doencas.htm>. Acesso em: 07 jun. 2013.

DAHLBERG, J.; WOLFRUM, E.; BEAN, B.; ROONEY, W. L. Compositional and agronomic evaluation of sorghum biomass as a potential feedstock for renewable fuels. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 5, n. 4, p. 507-513, 2011.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Unimontes, Janaúba.

FOSTON, M.; RAGAUSKAS, A. J. Biomass characterization: recent progress in understanding biomass recalcitrance. **Industrial Biotechnology**, Swansea, v. 8, n. 4, p. 191-208, 2012.

HOFFMAN, L.; ROONEY, W. L. Accumulation of biomass and compositional change over the growth season for six photoperiod sorghum lines. In: NATIONAL CONFERENCE SCIENCE FOR BIOMASS FEEDSTOCK PRODUCTION AND UTILIZATION, 2012, New Orleans. Disponível em: <http://sungrant.tennessee.edu/NR/rdonlyres/430141C3-38B5-4265-BAC4-E89C9239B62A/3278/Leo-Hoffmann_TexasAMUniversity.pdf>. Acesso em: 10 jun. 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.

McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, p. 37-46, 2002.

RABELO, F. H. S.; RABELO, C. H. S.; DUPAS, E.; NOGUEIRA, D. A.; REZENDE, A. V. Parâmetros agronômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p. 47-66, 2012.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **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. 359 p.

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.

ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v. 1, p. 147-157, 2007.

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

Literatura recomendada

BARBOSA, F. C. R.; PFENNING, L. H.; CASELA, C. R. *Peronosclerospora sorghi*, o agente etiológico do míldio do sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 119-132, mar./abr. 2006.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; FERNANDES, F. T.; PINTO, N. F. J. **Doenças foliares de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 5 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 72).

CASELA, C. R.; PINTO, N. F. J. A.; OLIVEIRA, E.; FERREIRA, A. S. Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): controle de doenças In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 1025-1064.

COSTA, R. V.; COTA, L. V.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; LANZA, F. E. **Controle químico da antracnose do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 117).

COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; PARREIRA, D. F. **Uso integrado da resistência genética e aplicação de fungicidas para o manejo da antracnose do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 143).

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; LANZA, F. E. **Recomendação para o controle químico da antracnose foliar do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 171).

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; PARREIRA, D. F. **Recomendação para o controle químico da helmintosporiose do sorgo (*Exserohilum turcicum*)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 149).

FREDERIKSEN, R. A.; ODVODY, G. N. **Compendium of sorghum diseases** 2. ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2000. 78 p.

MONTES-BELMONT, R.; FLORES-MOCTEZUMA, H. E.; NAVA-JUÁREZ, R. A. Alternative hosts of *Claviceps africana* Frederikson, Mantle and Millano, causal agente of sorghum "ergot" in the state of Morels, Mexico. **Revista Mexicana de Fitopatologia**, v. 21, n. 1, p. 63-66, 2003.

NGUGI, H. K.; JULIAN, A. M.; KING, S. B.; PEACOCKE, B. J. Epidemiology of sorghum anthracnose (*Colletotrichum sublineolum*) and leaf blight (*Exserohilum turcicum*) in Kenya. **Plant Pathology**, London, v. 49, p. 129-140, 2000.

PU, Y.; HU, F.; HUANG, F.; DAVISON, B.; RAGAUSKAS, A. Assessing the molecular structure basis for biomass recalcitrance during dilute acid and hydrothermal pretreatments. **Biotechnology for Biofuels**, v. 6, n. 15, p. 1-13, 2013.