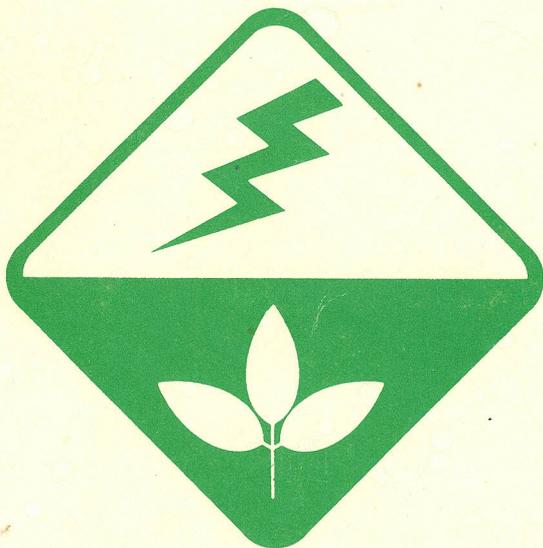


# SISTEMA RURAL BIOENERGIA

---

FOL. 0923



Sistema rural de bioenergia.

FL - FOL.0923



10932 - 1

**Microdestilaria  
Biodigestor  
Gerador de Eletricidade**

# SISTEMA RURAL DE BIOENERGIA

---

---

---

Microdestilaria  
Biodigestor  
Gerador de Eletricidade

# 1 APRESENTAÇÃO

---

Se a atual conjuntura, de reavaliação das Fontes e Formas de energia, provocou uma situação difícil e totalmente nova no país, é também verdade que essa mesma conjuntura estimulou o desenvolvimento de investigações e pesquisas visando contorná-la.

Participando desse esforço, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA criou e vem desenvolvendo, desde fins de 1979, o seu Programa Nacional de Pesquisa em Energia. Neste, alinham-se trabalhos sobre várias matérias primas consideradas "energéticas", além de estudos visando diminuir a importação de insumos energéticos no setor agro-industrial.

Tais pesquisas têm como princípio básico a captação de energia solar na forma de biomassa e a posterior transformação dessa em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Na utilização de biomassa para fins energéticos pode-se destacar a realização de pesquisas com microdestilarias e com biodigestores, sendo que, no conjunto de projetos já implantados nas Unidades da Empresa, merece destaque o SISTEMA RURAL DE BIOENERGIA, do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), que visa demonstrar a exequibilidade técnica e econômica de se produzir álcool para auto-consumo em qualquer região do país, até mesmo naquelas que não dispõem de energia elétrica.

Trata-se de um sistema pioneiro por efetuar a operação integrada de uma microdestilaria, um biodigestor e um conjunto de eletricidade, interligados de modo harmonioso. Por suas peculiaridades, o Sistema também contribui para minimizar os efeitos danosos que os subprodutos das destilarias podem causar ao meio-ambiente. A idéia geral do Sistema (Fig. 1) reside na captação de energia solar, na forma de biomassa, e sua transformação em insumos (combustíveis e fertilizantes) utilizáveis nas diversas fases da produção agrícola. Parte dessa biomassa, no caso sorgo sacarino e cana-de-açúcar, é transformada em álcool na microdestilaria. O bionômio sorgo-cana vem merecendo atenção especial nos projetos em execução, pois pretende-se demonstrar sua viabilidade como sistema de cultivo e como matéria-prima industrial. Sendo culturas complementares diminuem a ociosidade dos equipamentos. O sorgo sacarino, além disso, tem uma velocidade de multiplicação que é, pelo menos, 25 vezes maior do que a da cana.

Os grãos do sorgo sacarino, usados como ração animal, financiam parte dos custos de produção do sistema.

Os colmos colhidos constituem a matéria-prima para o processo de produção de álcool, e os resíduos vegetais destinam-se ao biodigestor. O sistema de produção agrícola é realimentado com a aplicação do biofertilizante, que é o resíduo fermentado do biodigestor, e pela utilização do álcool produzido, na movimentação de tratores e outras máquinas. Outra vantagem do sistema é o aproveitamento da vinhaça e de parte do bagaço na biodigestão, o que contribui para redução palpável na poluição ambiental.

Fechando o sistema, o conjunto gerador de eletricidade do CNPMS pode ser acionado pelo biogás ou pelo álcool. A necessidade de energia elétrica na microdestilaria é assim suprida por este último componente. Parte do gás pode, ainda, destinar-se a outros fins na propriedade rural, como à secagem de grãos e ao consumo doméstico.

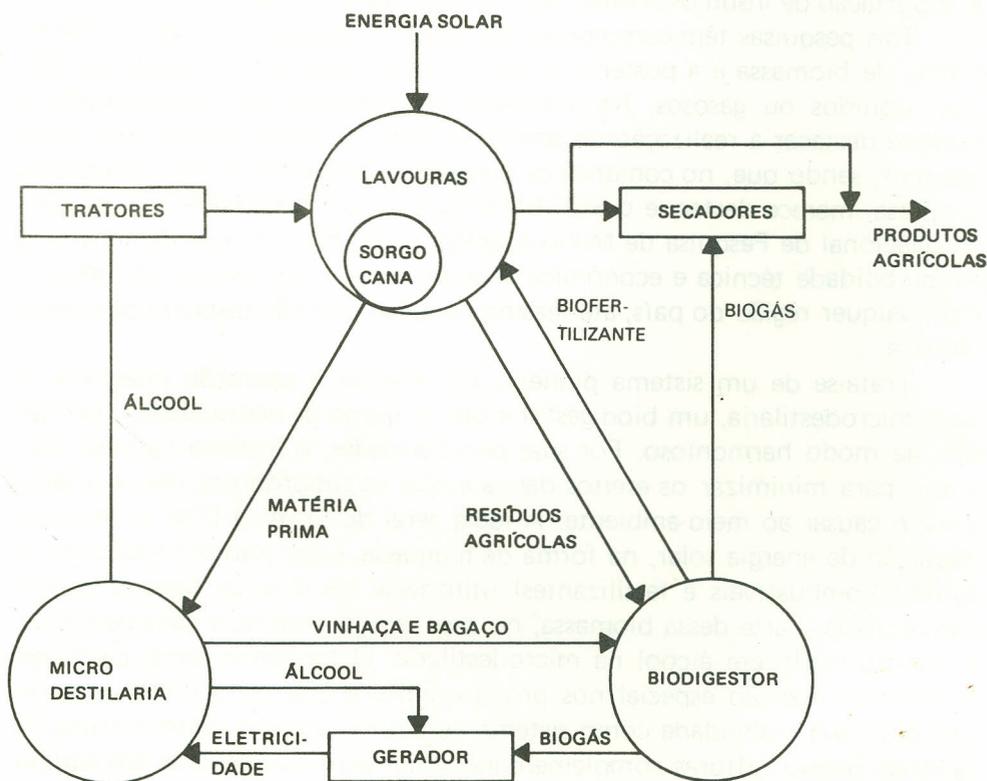


FIGURA 1 . Fluxograma simplificado do Sistema Rural de Bioenergia

# 2 PESQUISA COM SORGO SACARINO

---

Considerando-se os vários fatores envolvidos na instalação de um sistema de captação e transformação de bioenergia, deve-se pensar na utilização de sistemas de produção agrícola que assegurem um fluxo uniforme de biomassa durante o ano agrícola, possibilitando, por sua vez, uma produção igualmente estável do álcool.

Dentro deste enfoque, o sorgo sacarino desponta como uma das mais destacadas matérias-primas alternativas e complementares à cana-de-açúcar. Sua utilização, além de possibilitar ampliar-se de 180 para 270 dias o período de operação industrial, assegurando a maximização no uso dos fatores e recursos disponíveis, oferece ainda as seguintes vantagens:

- menor risco de vulnerabilidade genética no programa de produção de bioenergia, face à utilização racional de duas espécies distintas;
- possibilidade de aproveitamento dos grãos como fonte de energia ou alimento, conciliando a produção energética com a produção de alimentos;
- possibilidade de localização de sistemas bioenergéticos em regiões que não são tradicionalmente produtoras de cana-de-açúcar.

A EMBRAPA, através do CNPMS, iniciou em 1976 os estudos de viabilidade da utilização do sorgo sacarino para produção de álcool. Os resultados obtidos durante cinco anos de pesquisas, conduzidas em várias regiões brasileiras, têm confirmado o potencial dessa cultura para a produção de bioenergia.

O sorgo é uma espécie pertencente à família da cana-de-açúcar, e que apresenta, dentre outras, as seguintes características: elevada eficiência fotossintética, ciclo produtivo relativamente curto (100 a 130 dias), possibilitando um manejo mais adequado da área; condições favoráveis à mecanização; multiplicação por sementes; ampla adaptabilidade; e possibilidade de aproveitamento do bagaço como fonte de energia para o processo de industrialização.

O sorgo sacarino é similar à cana-de-açúcar no tocante ao processamento e utilização dos colmos, que são moídos para a produção de caldo com um teor de açúcares totais variando entre 14 a 18% (tabela 1). Ele difere da cana pelo fato de produzir grãos que podem ser utilizados na alimentação animal, ou ser hidrolisados e sacarificados para a produção de álcool, apresentando nesse caso rendimentos da ordem de 340 litros de álcool p/ tonelada.

**TABELA 1. Resultados de análise do caldo de sorgo sacarino e de cana-de-açúcar.**

Características	Sorgo Sacarino		Cana-de-açúcar <sup>3</sup> (médias de São Paulo)
	Bibliografia <sup>1</sup>	ENSS <sup>2</sup>	
Quantidade de caldo (kg caldo/t de colmos)	350 a 600	500 a 700	600 a 800
Brix (%)	16 a 20	14 a 20	18 a 21
Sacarose (%)	10 a 15	8 a 16	15 a 18
Açúcares redutores (%)	1 a 4	0,7 a 7,3	0,2 a 1,5
Açúcar redutores totais (%)	14 a 20	14 a 18	16 a 19

(1,3) Serra, G. E. 1977. O sorgo sacarino como matéria-prima para produção de álcool etílico. In: Anais do "I Simpósio Brasileiro de Sorgo", Brasília, DF, EMBRAPA/CNPMS.

(2) Ensaio Nacional de Sorgo Sacarino.

Nos últimos quatro anos, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo tem coordenado o Ensaio Nacional de Sorgo Sacarino, um sistema cooperativo de experimentos anuais, com o objetivo de avaliar as cultivares mais adequadas à produção de álcool e identificar regiões ecológicas com potencial para a produção de sorgo sacarino. Um sumário dos resultados obtidos nesse período, em quatro locais da Região Centro-Sul, é apresentado na Tabela 2.

Deve-se registrar que estas cultivares apresentam sensibilidade ao fotoperiodismo (dias curtos), o que tem limitado o plantio aos meses de setembro, outubro, novembro e primeira quinzena de dezembro, e o estabelecimento da cultura em regiões onde o período luminoso normal seja aproximadamente igual a 12 horas.

Entretanto, novas cultivares com insensibilidade ao fotoperiodismo estão sendo desenvolvidas no CNPMS, permitindo ampliar consideravelmente a época de plantio e possibilitando a obtenção de maior produtividade na rebrota. Dentre as cultivares experimentais que estão sendo avaliadas, a CMS XS 616 tem apresentado rendimentos de colmos e de açúcares totais que a colocam em posição de destaque (Tabela 3).

TABELA 2. Resultados obtidos em quatro locais<sup>(1)</sup>, durante três anos agrícolas (77/78; 78/79; 79/80).

Cultivares	Maturação (dias)	Massa verde Total (t/ha)	Colmos		Folhas		Panículas		Brix (Graus)	Ode de <sup>3</sup> caldo
			(t/ha)	(%) <sup>2</sup>	(t/ha)	(%) <sup>2</sup>	(t/ha)	(%) <sup>2</sup>		
BR 500	122	45,8	35,2	76,8	6,9	15,1	3,7	8,1	18,4	58
BR 501	133	52,0	39,0	74,9	9,1	17,6	3,9	7,5	20,1	58
BR 503	114	47,3	37,4	79,1	5,9	12,5	4,0	8,4	15,1	61
BR 602	128	60,9	47,5	77,9	8,2	13,4	5,2	8,7	17,8	59

<sup>1</sup> Sete Lagoas (MG), Araras e Ribeirão Preto (SP), e Pelotas (RS)

<sup>2</sup> (%) em relação à Massa Verde Total

<sup>3</sup> (%) em relação a massa de colmos despalhados

**TABELA 3. Resultados preliminares da cultivar experimental CMS XS 616 - 1980/81. ARARAS (SP)**

Grandeza	t/ha	%
Massa verde total	78,4	100
Colmos	65,9	84
Folhas	10,4	13,3
Panículas	2,1	2,7
Brix	—	18,8

Em resumo, as características da cultura do sorgo sacarino e sua similaridade com a cana-de-açúcar permitem que, através da utilização de um sistema de produção adequado e com a tecnologia atual de processamento industrial, seja assegurado um fluxo contínuo de matéria-prima ao sistema de bioenergia, ampliando consideravelmente seu período de utilização ao longo do ano.

# 3 A MICRODESTILARIA INSTALADA NO CNP-MILHO E SORGO

---

De modo geral, microdestilarias são unidades produtoras de álcool hidratado (94-96° GL) com capacidade para produzir até 5.000 litros diários. Essa produção deve ser preferencialmente utilizada na fazenda ou conjunto de fazendas que fornecerem a matéria-prima para fabricação do álcool.

As microdestilarias são viáveis na medida que permitem a regionalização da produção de combustíveis. Além disso, oferecem como vantagens econômicas a redução nos custos de transporte da matéria-prima e do álcool produzido, além de permitir um balanço energético mais favorável.

A microdestilaria instalada no CNPMS tem capacidade de produção de 100 litros de álcool por hora, usando sorgo sacarino ou cana-de-açúcar como matérias-primas.

Essa unidade foi projetada e montada segundo a tecnologia já adaptada pela EMBRAPA. Este modelo, atualmente recomendado pela Empresa, dispõe dos seguintes equipamentos:

- moenda de 2 ternos
- tanques e dornas de fermentação em aço-carbono
- conjunto de destilação contínua em aço inoxidável
- caldeira para produção de vapor com revestimento refratário pré-montado
- reservatórios de álcool em aço-carbono.

O funcionamento da microdestilaria é simples, conforme ilustrado no Fluxograma (Fig. 2); a cana-de-açúcar ou o sorgo sacarino são moídos na moenda de 2 ternos; o caldo é peneirado e bombeado para os tanques de caldo que se acham elevados em relação às dornas de fermentação. Nesses tanques, o caldo é aquecido a 35° C, através do borbotagem do vapor, e suplementado com sulfato de amônio ou uréia e superfosfato triplo, transformando-se no mosto que vai ser descarregado nas dornas de fermentação. Esta demora de 16 a 20 horas para se completar e o líquido fermentado denomina-se vinho. O vinho é mantido na dorna por 2 ou 3 horas (após completada a fermentação), para permitir a decantação da levedura que vai servir de inóculo para a próxima fermentação.

O inóculo ou pé-de-cuba é tratado com ácido sulfúrico e penicilina industrial para evitar contaminações.

O vinho é descarregado num tanque, sendo daí bombeado para a coluna de destilação, onde é feita a separação e a concentração do álcool nele contido.

O álcool, ao sair da coluna de destilação, na graduação de 94 a 96° GL e com baixíssimo teor de ácidos, pode ser usado diretamente nos motores de automóveis, caminhões, tratores, máquinas agrícolas e demais equipamentos fabricados para o uso do álcool ou para ele adaptados.

A energia térmica, em forma de vapor, a baixa pressão, utilizada para efetuar a destilação, é obtida a partir da queima do bagaço. Por outro lado, a energia elétrica para movimentar as moedas e as bombas hidráulicas provém da combustão de biogás ou de álcool no conjunto gerador de eletricidade.

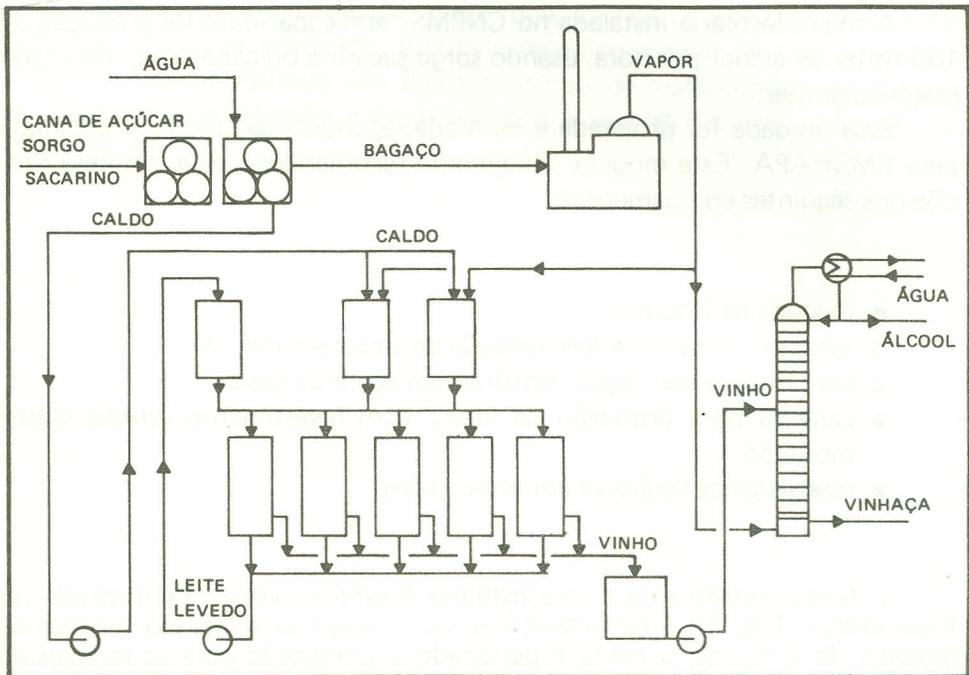


FIGURA 2 . Fluxograma simplificado da Microdestilaria do CNP-MS

# 4 O BIODIGESTOR INSTALADO NO CNP-MILHO E SORGO

---

Biodigestores são tanques fechados onde se processa a fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos (dejetos animais, restos de cultura, efluentes industriais, etc) produzindo biogás e biofertilizante.

O biogás contém cerca de 55 a 65% de metano ( $\text{CH}_4$ ) e perto de 35 a 45% de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Quanto maior a eficiência da fermentação, maior a quantidade de metano produzida.

Entre inúmeras aplicações do biogás pode-se apontar:

- a queima direta em fogões
- a iluminação com lâmpadas de camisa
- o aquecimento de incubadoras, fornalhas, secadores, etc
- a alimentação de motores de combustão interna para utilização direta da energia mecânica ou através do acoplamento a geradores para produção da energia elétrica.

A vantagem do biofertilizante — o resíduo semi-sólido da digestão anaeróbica que ainda contém 30% da matéria orgânica introduzida no biodigestor — é que os percentuais de fósforo, potássio e nitrogênio permanecem inalterados, sendo aproveitados na lavoura.

Devido à sua composição, pode substituir pelo menos em parte os fertilizantes químicos, que são, na sua quase totalidade, dependentes de insumos importados, além de melhorar as propriedades físicas do solo, especialmente a capacidade de retenção de umidade. Acrescente-se ainda que, pelo fato de ser produzido nas propriedades, poderá ser usado mesmo em locais distantes dos grandes centros distribuidores dos fertilizantes químicos, com sensível economia de divisas para o país.

O biodigestor instalado no CNPMS é resultado de um convênio entre a EMBRAPA e a ELETROBRÁS, com o objetivo de verificar a viabilidade da produção de biogás para a geração de eletricidade, através de biodigestão de resíduos agrícolas, e é o maior do país para tal matéria-prima.

É do tipo indiano, com algumas modificações (Fig. 3). Apresenta câmaras de fermentação com capacidade de  $220 \text{ m}^3$ , e uma produção diária mínima de  $110 \text{ m}^3$  de biogás à pressão de 25 cm de coluna d'água.

A carga inicial do biodigestor foi feita à base de estrume bovino, que

foi gradativamente substituído por restos triturados de culturas de milho e sorgo. Estes resíduos vêm produzindo biogás há cerca de 4 meses. O período de retenção destes resíduos dentro do biodigestor situa-se em torno de 30 dias. Observou-se que uma pré-fermentação aeróbica dos resíduos agrícolas melhora o rendimento do biodigestor. Conforme já salientado, o biogás produzido alimenta o gerador de eletricidade que atende à microdestilaria e também um conjunto de demonstração composto de fogão, geladeira, lampiões, um pequeno gerador de eletricidade de 2.500 W e uma bomba para irrigação.

Pesquisas estão sendo conduzidas, no CNPMS, utilizando o biofertilizante em solos de Cerrados. Resultados preliminares indicaram que o resíduo da fermentação substitui parcialmente o nitrogênio, potássio e a calagem. A composição química do biofertilizante empregada foi a seguinte:

● Nitrogênio	1,17%
● Fósforo	0,35%
● Potássio	4,12%
● Cálcio	16,30%
● Magnésio	0,28%

A otimização do processo é um item essencial na continuação de pesquisas com biodigestores, existindo uma programação visando alcançar este objetivo. Ênfase será dada a pesquisas para a utilização do bagaço e da vinhaça no biodigestor, visando obter energia e evitar a poluição ambiental, resolvendo assim, como já foi mencionado, um dos grandes problemas causados pelos resíduos das destilarias.

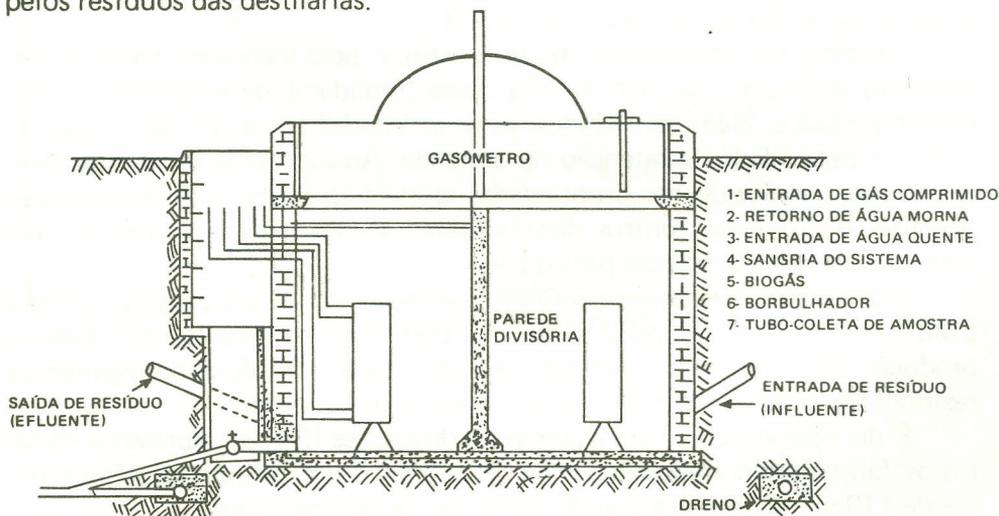


FIGURA 3 - Esquema geral do Biodigestor instalado no CNP-MS

# 5 GRUPO GERADOR DE ELETRICIDADE

---

A eletrificação rural atinge apenas cerca de 5% das fazendas brasileiras, principalmente devido à baixa densidade de consumidores e às longas distâncias entre as grandes usinas hidroelétricas e as zonas rurais.

Esta é uma séria barreira à implantação de microdestilarias, mesmo em regiões potencialmente viáveis nos outros aspectos.

A implantação do sistema destilaria/biodigestor integrado por um grupo gerador, usando combustíveis de sua própria transformação, supera este problema, ajudando a melhorar substancialmente o padrão de vida rural.

O conjunto gerador de eletricidade, desenvolvido a pedido da EMBRAPA, tem potência nominal de 30 kW, usando biogás ou álcool hidratado como combustível, com controles de voltagens e ciclagens automáticos. As características do conjunto são:

## MOTOR

Potência Nominal	40 CV
Cilindrada	1300 cm <sup>3</sup>
Taxa de compressão	11:1
Regime de funcionamento	3550 rpm
Consumo máx. de biogás	14,1 m <sup>3</sup> /h
Consumo máx. de álcool	14,7 l/h

## GERADOR

Potência nominal	30 kW
Voltagem	220 v
Regime de funcionamento	1800 rpm
Consumo específico de biogás	0,47 m <sup>3</sup> /kW
Consumo específico de álcool	0,43 l/kW

A potência elétrica instalada na destilaria é de 18 kW, com consumo médio de 15 kWh. O biogás produzido (110 m<sup>3</sup>/dia) permite operar a destilaria por 15 horas. Se houver necessidade, complementa-se a operação com a utilização de álcool, com o consumo previsto de 58 litros.

Embora o conjunto gerador seja basicamente dimensionado para as necessidades de moagem e bombeamento na destilaria, possui capacidade para

atender às demandas de energia das residências nas propriedades rurais.

Em épocas de entressafras de sorgo sacarino e da cana-de-açúcar, é perfeitamente viável aproveitar a energia elétrica para irrigação, secagem de grãos ou movimentação de uma oficina mecânica completa.

MOTOR	
1000 W	1000 W
1500 W	1500 W
2000 W	2000 W
3000 W	3000 W
4000 W	4000 W
5000 W	5000 W
7500 W	7500 W
10000 W	10000 W

GERADOR	
1000 W	1000 W
1500 W	1500 W
2000 W	2000 W
3000 W	3000 W
4000 W	4000 W
5000 W	5000 W
7500 W	7500 W
10000 W	10000 W

# 6 DESEMPENHO DOS TRATORES A ÁLCOOL

---

Como já mencionado, um outro elemento chave no sistema é o uso do álcool como combustível para veículos e máquinas agrícolas. A EMBRAPA, em convênio com a FORD BRASIL S/A, vem há mais de um ano operando 10 tratores Ciclo Otto movidos à álcool. Estes veículos já trabalharam mais de 6.000 horas e demonstraram ser eficientes e econômicos.

Em comparações diretas com os mesmos modelos movidos a diesel, os tratores a álcool mostraram maior reserva de torque, superando as operações mais duras no campo, com facilidade, e completando sua tarefa em menor tempo, o que representa maior produção de trabalho por unidade de tempo.

A par disto, testes controlados feitos pelo CNP-MS indicaram que o consumo calorífico por hora, dos tratores a álcool, igualou-se ao dos tratores diesel equivalentes. Isso permite concluir que os tratores a álcool são tão eficientes quanto os diesel, na conversão de energia química em trabalho mecânico.

Entretanto, considerando que os tratores a álcool têm apresentado um consumo volumétrico superior ao dos tratores diesel equivalentes, sua viabilidade econômica fica condicionada à adoção de uma nova política de preços para os derivados de petróleo, em que não haja os subsídios que hoje ocorrem, ou à possibilidade de obtenção do álcool a preços baixos, o que é possibilitado pelo Sistema Rural de Bioenergia.



**EMBRAPA**  
Centro Nacional de Pesquisa – Milho e Sorgo  
Rodovia MG - 424 - Km 45  
**SETE LAGOAS - MG - CEP 35.700**