



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Avaliação de Desempenho de Equipamentos Eletorrurais

<b>Frederico Stark Rezende</b>	<b>Gutemberg Pereira Dias</b>	<b>Antônio Carlos Coutinho</b>
<b>CEMIG Distribuição S/A</b>	<b>Consultor Ministério das Minas e Energia Luz para Todos</b>	<b>CEMIG Distribuição S/A</b>
<a href="mailto:fredstar@cemig.com.br">fredstar@cemig.com.br</a>	<a href="mailto:gutemberg.dias@MME.gov.br">gutemberg.dias@MME.gov.br</a>	<a href="mailto:acco@cemig.com.br">acco@cemig.com.br</a>

#### Palavras-chave

Consumidor Rural,  
Eficiência Energética,  
Máquinas Agrícolas,  
Segurança.

#### Resumo

Na maioria das propriedades rurais, uma constante reclamação do produtor é o custo da energia elétrica para a produção de alimentos e trato dos animais. Buscando uma alternativa para o aumento da renda familiar e em consonância com o programa de eficiência energética, (Lei de Eficiência Energética – 10.295 de 17/10/2001 pelo Decreto 4.095 de 19/12/2001), são apresentados os resultados do trabalho desenvolvido pela Fazenda Energética de Uberaba no projeto “Avaliação de Desempenho de Equipamentos Eletorrurais” com o Triturador / Picador / Moedor, (modelo TPM-200), de fabricação da empresa brasileira MENTA MIT, da cidade Cajuru, São Paulo, indicado para beneficiar produtos de origem vegetal, grãos e partes áreas com diferentes teores de matéria seca e estágios de maturação.

Os ensaios realizados com o equipamento mostraram que na moagem de grãos, por exemplo, a peneira de 1 mm apresenta baixa capacidade de produção horária, alto consumo específico de energia e muita tendência ao embuchamento do equipamento e o aumento da rotação com o uso da peneira de 3 mm aumenta a produção do equipamento;

No processamento com produto verde observou-se que a produção aumenta com o aumento da rotação e há necessidade de redimensionar a abertura de saída do material processado.

## 1. Introdução

A regulamentação da Lei de Eficiência Energética – 10.295 de 17/10/2001 pelo Decreto 4.095 de 19/12/2001, instituiu o “Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE”, que tem como atribuição elaborar a regulamentação específica para cada tipo de equipamento. Essa regulamentação deverá conter dentre outros indicadores, os níveis máximos de consumo específico de energia.

As vantagens que se pode observar de imediato seria principalmente a redução do custo da energia elétrica para o produtor rural sem, todavia, reduzir o crescimento econômico, e também a mudança de comportamento dos fabricantes, atentando para os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiências energéticas.

Com o objetivo de contribuir com a Lei de Eficiência Energética, a Fazenda Energética da Companhia Energética de Minas Gerais, tem procurado ensaiar equipamentos rurais com o intuito de conhecer seu desempenho e consumo de energia, bem como contribuir com o aperfeiçoamento dos mesmos ao sugerir modificação aos fabricantes de forma a melhorar o desempenho dos mesmos.

Demonstrar o desenvolvimento de equipamentos eletrorurais eficientes, com aumento da produção e redução do consumo específico de energia elétrica faz parte das atividades da Fazenda Energética, a qual tem também por função prover o mercado de equipamentos energeticamente eficientes, aumentando com isto a sustentabilidade da atividade do produtor rural.

## 2. Desenvolvimento

A bancada de ensaios (figura 1) consta de um motor trifásico de 20cv, comandado por um conversor/variador de frequência para permitir a escolha da velocidade angular do equipamento ensaiado, um torquímetro com capacidade máxima equivalente a 2.000mN, um jogo de polias para permitir que o torque fosse medido numa faixa com erro máximo de 2%, sistema de aquisição de dados, balança de precisão, estufa, termômetros, etc.

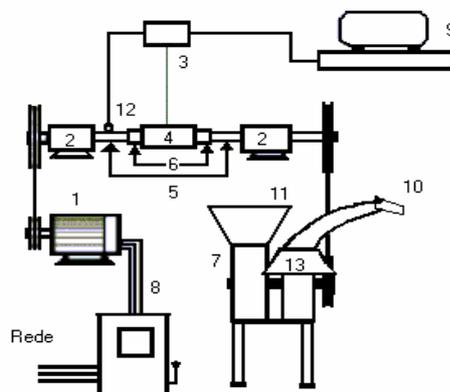


Figura 1 – 1-motor; 2-mancais; 3-data logger; 4-torquímetro; 5-eixos; 6-luvas de acoplamento; 7-TPM; 8-dispositivo de partida e proteção; 9-computador; 10-bica de saída de material verde picado; 11-bica de alimentação com material seco; 12-sensor de rotações; 13-bica de alimentação com material verde.

Na Figura 2 abaixo, vemos uma imagem de como é a tela de captura dos dados do torquímetro.

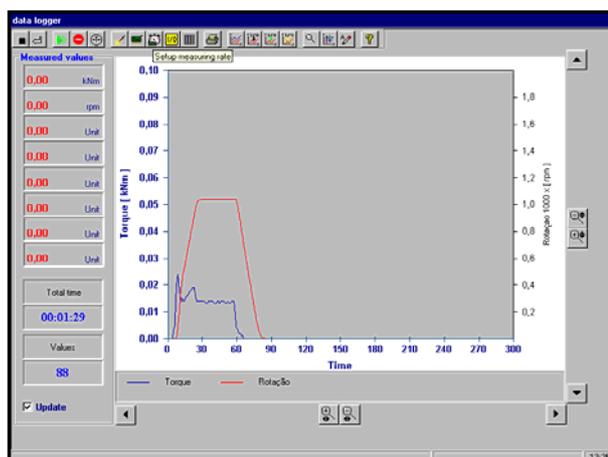


Figura 02 – sistema aquisição de dados

O Triturador / Picador / Moedor, modelo TPM-200 (figura 3), é de fabricação da empresa brasileira MENTA MIT, da cidade Cajuru, São Paulo, possui versatilidade para beneficiar produtos de origem vegetal, grãos e partes áreas com diferentes teores de matéria seca e estágios de maturação.



Figura 03 – TPM-200

### ***Descrição e detalhamento dimensional e ponderal***

O TPM-200 tem as seguintes medidas e peso:

- Altura máxima: 132 cm
- Largura máxima: 62 cm
- Comprimento máximo: 90 cm
- Peso sem motor: 92 kg

### ***Elementos ativos do moedor***

O rotor tem as seguintes medidas:

- Diâmetro do rotor: 15 cm
- Diâmetro externo incluindo os martelos: 24 cm
- Número de pinos para fixação dos martelos: 2
- Número de martelos por pino: 6
- Número de mancais: 2
- Peneiras com orifícios com diâmetros de: 1, 3, 5, 10 mm
- Polia com diâmetro de: 10 cm

Dados de capacidade de produção, rotação e demanda de potência do TPM-200, segundo o prospecto do fabricante estão descritos no quadro 01.

**Quadro 01 – dados do equipamento**

Modelo do Equipamento	Produção horária (kg/h)	Rotação (rpm)	Potência (cv)
TPM-200	150 a 750 kg/h	4.000 a 4.300	3,0 a 7,5

O EQUIPAMENTO não foi acompanhado de manual de operação e manutenção, nem de lista de peças de reposição.

O Ensaio realizado com milho e grão pode ser caracterizado como produto seco e o ensaio com cana de açúcar, como produto verde.

O equipamento para ensaios com produto seco consta de um rotor dotado de martelos de aço cementado de alta dureza, envolto por peneira, no interior de um compartimento construído em chapa de ferro, com uma moega montada sobre o corpo principal da máquina. O material moído ao passar pela peneira é descarregado por meio de uma saída na parte de baixo do equipamento, aproveitando-se o potencial gravitacional. A moega é basculável para limpeza interior e troca da peneira.

A parte do equipamento relativa aos ensaios com produto verde consta de um rotor dotado de facas especiais com têmpera localizada e fixas com parafusos em aço 10.9 e contra facas em aço calçado fixas com parafusos 10.9. O material picado ao passar pelas facas é descarregado por meio de uma saída na parte lateral do equipamento.

Os ensaios foram conduzidos procurando-se verificar sempre o melhor rendimento do equipamento, verificado a capacidade de produção horária, demanda de potência e consumo específico de energia na moagem de milho e na produção de cana-de-açúcar picada para alimentação animal.

No primeiro ensaio na máquina verificamos a variação da rotação na capacidade de produção e consumo específico de energia para cada peneira do equipamento. Verificamos ainda a variação do número de martelos na capacidade de produção e consumo específico de energia para cada peneira do equipamento.

Foram usados quatro valores para rotação: 3550; 3850; 4150 e 4450 rpm. Foram usadas as peneiras de 1, 3, 5 e 10 mm de diâmetro de furo. Foram usados o número original de martelos (12 martelos, N), um martelo a menos em cada pino (10 martelos, N-1), um martelo a mais em cada pino (14 martelos, N+1), e dois martelos a mais em cada pino (16 martelos, N+2).

No segundo ensaio na máquina, verificamos o efeito da variação da rotação, variação da inclinação das facas, variação da taxa de alimentação na capacidade de produção, demanda de potência e consumo específico de energia para picar cana-de-açúcar para alimentação animal.

Também foram usados quatro valores para rotação, e as facas foram inclinadas de forma a terem 0.1 mm de distanciamento da contra-faca em um dos lados e 10 mm de distanciamento da contra-faca no outro lado ou no extremo da faca.

Em ambos os testes, tanto para produto seco, quanto para produto verde, o processo de alimentação da máquina foi de maneira contínua e o mais regular possível. Após a partida do motor, aguardava-se que o sistema entrasse em regime permanente para então começar a medir o tempo de processamento e início simultâneo da coleta do produto picado na saída do equipamento. O tempo de processamento foi obtido por meio da análise dos dados gerados pelo sistema de aquisição de dados, que armazenava, a cada segundo, valores de torque e rotação durante o tempo em que o ensaio era conduzido.

Para julgar o desempenho do TPM-200 na produção de cana-de-açúcar picada para alimentação animal, bem como para moagem de milho foram usados os critérios de capacidade de produção horária, demanda de potência e consumo específico de energia.

O ensaio, no tocante a capacidade de produção horária, o produto processado foi coletado em um recipiente próprio, sendo levado a uma balança para ser pesado. O tempo gasto no processamento foi medido por meio dos dados do sistema de aquisição.

$$CP = \frac{Pm}{t} \quad \text{em que:}$$

CP – capacidade de processamento ( $\text{th}^{-1}$ );

Pm – peso do material processado (t);

T – tempo gasto para processamento (h);

A demanda de potência foi calculada por meio do torque e velocidade angular, registrados pelo sistema de aquisição de dados:

$$P = T\omega = Trpm / 0549 \quad \text{em que:}$$

P = potência demandada (kW);

T – torque (mN);

$\omega$  = velocidade angular ( $\text{rad.s}^{-1}$ );

rpm = rotação por minuto.

Relacionando-se a produção horária com a potência demandada para o acionamento da máquina, determinou-se o consumo específico de energia:

$$Ce = P / CP$$

## **Resultados**

### **Medida do torque de atrito nas 4 rotações de trabalho**

A primeira medida efetuada foi a da potência necessária para vencer o atrito da máquina, o que num ensaio comparativo permite a análise do projeto mecânico.

Os valores de potência encontrados foram:

Potência de atrito média a 3550rpm, usando-se 2 correias perfil B-131: 1,004 kW

Potência de atrito média a 3850rpm, usando-se 2 correias perfil B-131: 1,239 kW

Potência de atrito média a 4150rpm, usando-se 2 correias perfil B-131: 1,430 kW

Potência de atrito média a 4450rpm, usando-se 2 correias perfil B-131: 1,471 kW

Considerando-se que nos manuais de seleção de correias para transmissão de potência observa-se que potências até 5kW, e a altas rotações, quase sempre necessitam de uma só correia, e na maioria das vezes com formato do tipo A, procurou-se avaliar o efeito do uso de 2 correias com formato do tipo B na demanda de potência.

Os valores encontrados foram:

Potência de atrito, a 4150rpm, usando-se 1 correia perfil B-131: 1,304 kW

Potência consumida por correia a 4150rpm: 0,126 kW

### ***Ensaio com produto seco (milho)***

Para o ensaio do desempenho do TPM-200, com o número original de martelos, observamos que a peneira de 1 mm tem uma produção horária e um consumo específico de energia nitidamente diferente das demais peneiras.

Consideramos 1 para rotação de 3550rpm, 2 para 3850rpm, 3 para 4150rpm, e 4 para 4450rpm.

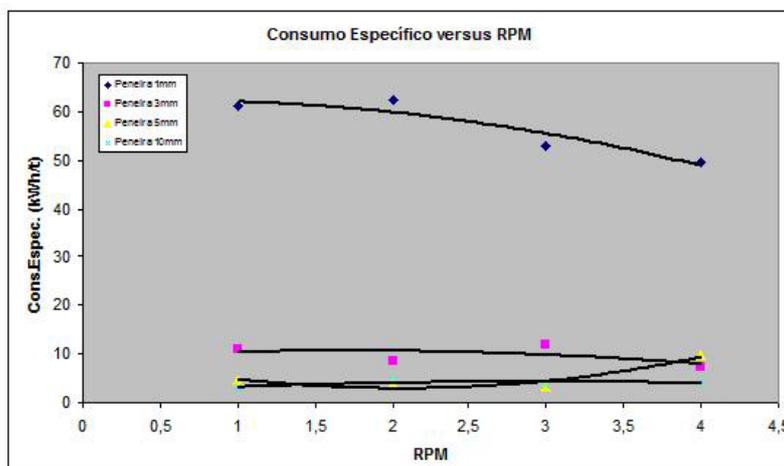


Figura 04

Enquanto a peneira de 1 mm possui um alto consumo específico, não respondendo a variação de velocidade, a peneira de 5 mm tem uma tendência a aumento de produção com o aumento da velocidade.

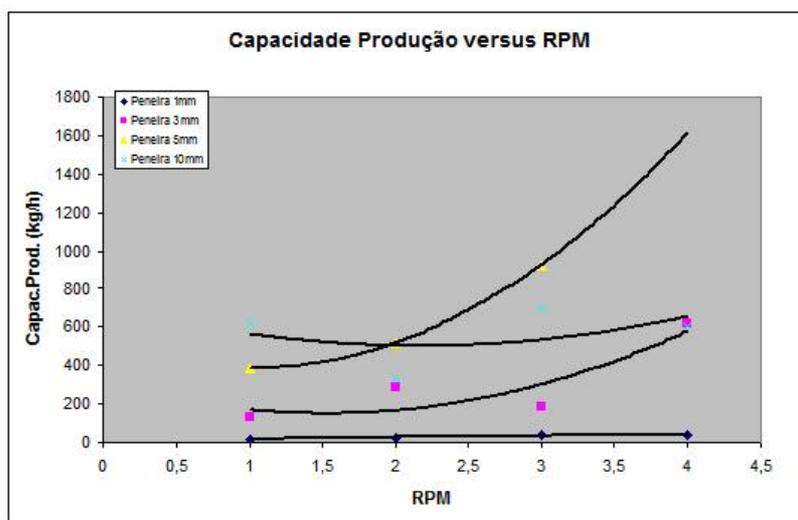


Figura 05

Pode-se observar também que a exceção da peneira de 3 mm, nenhuma das peneiras, em qualquer regime de giro, exigiu a potência recomendada no manual (potencia nominal).

O elevado valor para a potência na peneira de 3 mm pode estar ligado a uma taxa de alimentação ligeiramente elevada para esta peneira e velocidade de giro, pois mesmo tendo uma capacidade de produção mais elevada e menor consumo específico, a demanda de potência foi mais que proporcional, podendo representar um consumo de energia adicional pela retenção de maior quantidade de produto sendo golpeado no interior do recinto de moagem (tendência a embuchamento). A dispersão dos dados em torno das curvas se deve em parte ao conteúdo de impurezas no milho e ao efeito deste na taxa de alimentação, pois por vezes as impurezas dificultavam a manutenção de uma taxa constante.

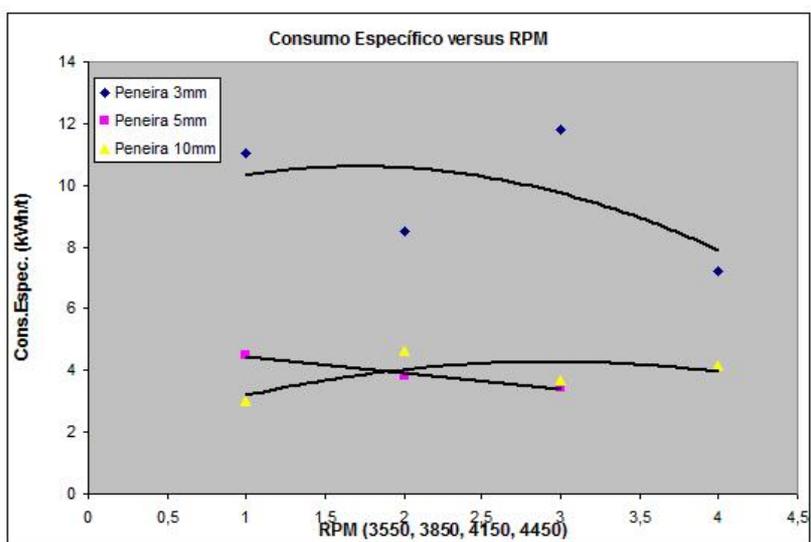


Figura 06

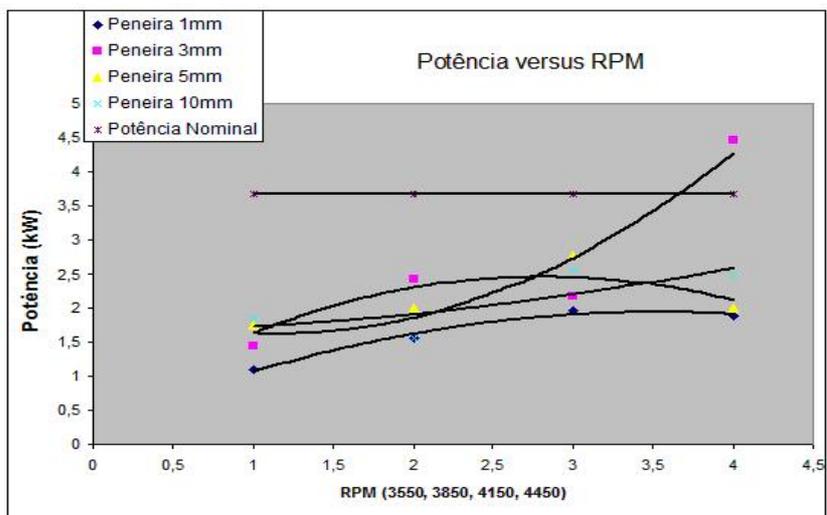


Figura 07

Para se verificar outras possibilidades, alterou-se também o número de martelos para ver sua influência na capacidade de produção e consumo específico de energia, não tendo apresentado ganhos significativos de produção e nem diminuição do consumo específico.

Ao se observar o Quadro 03 percebe-se que, ao se avaliar comparativamente, o TPM tem um bom desempenho na rotação nominal com a peneira de 5 mm, e que a 3 mm apresentou uma produção mais baixa, apesar de sua maior percentagem de área perfurada (Quadro 02), provavelmente devido à tendência ao embuchamento apresentado nesta peneira.

Quadro 02 – Percentagem de área perfurada das peneiras comparada a 5 marcas comerciais

Peneiras	TPM-200	Marca A	Marca B	Marca C	Marca D	Marca E
1 mm	19,2	4,4	12,7	8,9	9,1	5,5
3 mm	25,2	11,8	13,4	15,5	16,9	14,8
5 mm	18,8	17,8	13,3	19,4	19,3	21,1
10 mm	33,7	21,3	26,1	-	21,9	10,4

Quadro 03 – Comparação de características e desempenho com 5 diferentes marcas comerciais

Característica/Desempenho	TPM-200	Marca A	Marca B	Marca C	Marca D	Marca E
Velocidade periférica (m/s)	52,1	57,6	46,7	46,3	52,2	55,6
Número de martelos	12	20	10	12	20(*)	12
Produção horária						
3 mm	182	488	475	186	651	575
5 mm	928	571	938	235	946	816
Potência demandada						
3 mm	2,1	3,9	3,5	2,0	4,3	4,7
5 mm	2,8	3,1	4,2	1,5	4,0	4,2

\* - o formato do martelo é diferente do tradicional

### ***Ensaio com produto verde (Cana de açúcar)***

O ensaio de desempenho do TPM 200, com as facas em sua posição normal, na posição inclinada (com ângulo de ataque) e sob quatro rotações permitiu algumas análises. Verificou-se que o desempenho da máquina com as facas em ângulo, e a alimentação feita com uma cana, foi menor em relação à condição normal da faca (sem ângulo) e com alimentação à maior taxa (duas canas).

Assim como no processamento de matéria seca, para cana-de-açúcar também se nota uma tendência ao aumento da produção com o aumento da rotação.

Um fator interessante é que apenas para a maior rotação (4450rpm), e na maior taxa de alimentação, é que a potência requerida ficou próxima da recomendada. Porém ao se recomendar o equipamento para

propriedades com baixa capacidade de potência elétrica (até 5 kVA), a adequação da “boca” (moega) de alimentação pode permitir que este possa ser utilizado um motor de 5cv sem problemas.

### **3. Conclusões**

Em todos os ensaios observou-se que a abertura regulável da moega dificultava aumentar a taxa de alimentação, principalmente com o milho contendo impurezas. Seria desejável rever o projeto desta parte do equipamento.

Outra observação foi o embuchamento do equipamento nas peneiras com furos de menor diâmetro (1 e 3 mm), principalmente quando se reduziu o número de martelos nos eixos. Na peneira de 3 mm o embuchamento foi menos pronunciado. Foi também observado que, a completa remoção das partículas e desobstrução dos furos torna-se uma difícil tarefa.

O que se observou foi que nas taxas menores de alimentação, o milho contido no compartimento de moagem estava moído, não tendo a oportunidade de passar pela peneira. Nas taxas de alimentação maiores, havia tanto milho moído como milho ainda em grãos, o que pode caracterizar uma taxa de alimentação alta para este tipo de peneira ou uma peneira com percentagem de área perfurada baixa.

Para facilitar o fluxo de partículas trituradas e desobstrução dos freqüentes embuchamentos recomenda-se seção cônica para os furos, inclinando as paredes, assegurando-se assim, o diâmetro padrão dos furos na face superior da peneira.

No Quadro 02 ao se comparar a percentagem de área perfurada do TPM-200 com 5 marcas diferentes verifica-se que, para o caso da peneira de 3 mm, o TPM tem a maior percentagem dentre as marcas comparadas, e era esperada uma maior produção (Quadro 03), a qual só aconteceu com o aumento da velocidade de giro. A peneira de 10 mm também tem a maior percentagem de área comparativamente, e, possivelmente, sua produção e demanda de potência não foram mais elevadas pela limitação na alimentação que a abertura regulável da moega impôs à entrada de milho.

O nível de ruído não pode ser medido, no entanto, foi observado que, se a abertura da entrada de forragem e a abertura lateral para espiga de milho forem vedadas, o nível de ruído diminui.

Para processamento de produto verde, chegamos à conclusão que:

Durante os ensaios, notamos que o desempenho da máquina para o corte de cana varia em função do tamanho da cana e espessura do colmo. Maior comprimento da cana e alimentação contínua e constante melhora o desempenho. A alimentação da máquina é limitada a dois colmos, tendo sido detectado dois fatores básicos, as dimensões da entrada de alimentação e a dificuldade no manuseio de três colmos. A inclinação e o afunilamento existente na saída provocam a retenção do material no interior da máquina. O fato é agravado quando há excesso de matéria verde, como é o caso das folhas de cana-de-açúcar. O teste com a inclinação das facas não foi satisfatório, ocorrendo uma baixa produção e um alto consumo específico.

#### ***Considerações finais:***

Para processamento com produto seco:

- A peneira de 1 mm apresenta baixa capacidade de produção horária, alto consumo específico de energia e muita tendência ao embuchamento do equipamento;
- Haverá um aumento da produção com o aumento da rotação na peneira de 3 mm;
- Deve-se explorar o aumento da inclinação da parede dos furos da peneira de 3 mm (furos com secção cônica);
- É importante redimensionar a abertura regulável da moega que alimenta o moedor;
- É importante o ensaio do equipamento com peneiras de 5 mm com maior percentagem de área perfurada e com peneira de 10 mm com maior abertura na moega regulável, buscando-se verificar seu efeito na capacidade de produção, consumo específico de energia e demanda de potência.
- O número original de martelos, nas condições em que foram testados, está adequado ao bom desempenho do equipamento em função das outras condições de funcionamento.

Para o processamento com produto verde

- A produção aumenta com o aumento da rotação (restando verificar se as partes móveis suportarão os maiores esforços em função da elevação da força centrífuga nas partes girantes);
- Há necessidade de redimensionar a abertura de saída do material processado;
- Para o corte de cana-de-açúcar para alimentação animal, o dimensionamento da moega de alimentação permite utilizar o equipamento em uma faixa de potência menor (5cv).
- O desgaste das facas eleva o consumo específico de energia.

Sob vários aspectos pode-se observar o espaço que se tem para efficientização dos equipamentos eletorrurais.

Existe uma deficiência no fabrico dos equipamentos eletorrurais, não há pesquisa, não há um desenvolvimento de projetos que visem à concepção de máquinas eficientes energeticamente.

Através dos ensaios podem-se determinar os parâmetros mínimos de eficiência energética, orientação do fabricante e produtor quanto aspectos de consumo de energia, segurança, índices máximos de ruídos, melhorias do equipamento ensaiado, dentre outros.

Finalmente assegurar uma oferta de equipamentos e máquinas eletorrurais energeticamente eficientes no mercado brasileiro.