

# **Análise do desempenho de um grupo gerador de 50 kVA com motor MWM adaptado a ciclo Otto, alimentado com gás natural**

## **Performance analysis of electric power group of 50 kVA with MWM engine adapted to Otto cycle, using natural gas**

Fabrízio L. Figueiredo<sup>1</sup>; Fernando Fernandes<sup>2</sup>;  
Aron L. Petrucci<sup>3</sup>; Roberto F. Filho<sup>4</sup>; Marcelo Marsura<sup>5</sup>

### **Resumo**

Este trabalho apresenta os resultados de testes feitos com um motor de combustão interna MWM adaptado a ciclo Otto, acoplado a um gerador elétrico com capacidade de 50 kVA, alimentado exclusivamente com gás natural. Também são apresentadas as características e eficiência do conjunto com a finalidade de comparação com seu funcionamento futuro utilizando gás de síntese produzido por um gaseificador (gás de biomassa), com o objetivo de avaliar a viabilidade de se aplicar o sistema em localidades distantes, onde há biomassa disponível e o sistema de transmissão de energia elétrica de outros sistemas de geração é dificultado pela distância. O desempenho do conjunto foi monitorado a 0, 25, 50, 75 e 100% de sua capacidade de potência apresentando em ordem crescente de carga, tensões de 220, 220, 221, 221 e 222 volts e correntes de 0, 25, 50, 75 e 100 Ampères, respectivamente para as cargas de 0, 9,5, 19, 27,5 e 38 kW sendo esta última o rendimento máximo desenvolvido pelo conjunto. **Palavras-chave:** Gás natural. Motor ciclo Otto. Grupo gerador. Teste de rendimento.

### **Abstract**

This paper presents the data of tests with an internal combustion engine MWM adapted to Otto cycle, coupled to an electric generator with a capacity of 50 kVA, using natural gas. It is presented the characteristics and efficiency of the set for the purpose of comparison with its future operation using synthesis gas produced by a gasifier (biomass gas), to evaluate the feasibility of applying the system in remote locations, where biomass is available and system for transmitting electricity from other generation systems hampered by distance. The performance of the assembly was monitored at 0, 25, 50, 75 and 100% of its power capacity presented in increasing order of load voltages 220, 220, 221, 221 and 222 volts and currents 0, 25, 50, 75 and 100 amperes respectively for the load of 0, 9,5, 19, 27,5 and 38 kW the latter being the maximum output developed by the group.

**Key words:** Natural gas. Engine cycle Otto. Generator. Performance test.

<sup>1</sup>Aluno de mestrado Engenharia de Edificações e Saneamento (CTU), Universidade Estadual de Londrina; fabrizio.figueiredo@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Doutor em tratamentos de resíduos pelo Instituto Nacional Politécnico de Toulouse e professor associado (CTU – UEL); fernando@uel.br

<sup>3</sup>Doutor em Eng. Civil pela Universidade de São Paulo. Professor associado (CTU – UEL); aron@uel.br.

<sup>4</sup>Consultor Sênior – Petrobras; furini@petrobras.com.br

<sup>5</sup>Engenheiro Eletricista, ERBR - Energias Renováveis Brasil Ltda.; marcelo@erbr.com.br

## Introdução

Face às evidências dos limites naturais de combustíveis fósseis, bem como às implicações ambientais de seu uso, principalmente com relação ao efeito estufa, há grande interesse pelo conhecimento de fontes alternativas de energia.

Em sistemas isolados de fornecimento de energia elétrica, os grupos geradores com motor diesel são os mais utilizados, pois é comprovada sua durabilidade superior aos motores de combustão interna ciclo Otto, sendo também mais eficientes e duráveis.

Ciclo Otto é um ciclo termodinâmico, que idealiza o funcionamento de motores de combustão interna de ignição por centelha. Foi definido por Beau de Rochas e implementado com sucesso pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto em 1876. Motores ciclo Otto estão disponíveis apenas para pequenas faixas de potência, sendo que para potências maiores, usando combustíveis alternativos como biogás, gás de síntese, ou gás natural, se faz necessário a adaptação dos motores Diesel usualmente disponíveis no mercado brasileiro.

Motores de combustão interna de ignição por compressão caracterizam-se pela realização da combustão à pressão constante. As condições de pressão alcançadas na câmara de combustão elevam a temperatura do ar a valores suficientes para promover a auto-ignição do combustível que é injetado em alta velocidade, e finalmente pulverizado nesta atmosfera. Os motores Diesel apresentam eficiência térmica superiores aos motores de ignição por faísca, (STONE, 1999), por utilizarem taxas de compressão mais elevadas e por que, durante a fase inicial da compressão, apenas o ar está presente no cilindro. O rendimento do motor (BOSCH, 2005) é determinado pelo poder calorífico da mistura ar/combustível e por uma relação estequiométrica constante.

A simplicidade de operação e fácil manutenção, além do fato de se adequar às necessidades de aplicabilidade futura com gás de síntese (VIANNA JUNIOR, 2002), e ainda, maior viabilidade econômica, uma vez que possui maior taxa de retorno, menor custo de geração de energia e menor custo de investimento específico, comparadas com outras tecnologias (SALES et al., 2006). O princípio de funcionamento do motor ciclo Otto, dá-se por centelhas em contato com a mistura ar/combustível na câmara de combustão ocasionando a explosão dessa mistura química e corretamente dosada.

O motor do grupo gerador utilizado neste trabalho é resultado da adaptação de um motor diesel (MWM D 229-4) disponível no mercado, ao ciclo Otto com objetivo de utilizar combustíveis alternativos (biogás, gás de síntese, gás natural), sendo que a avaliação deste trabalho foi feita utilizando-se gás natural.

Além de verificar a eficácia e a viabilidade técnica da transformação e utilização desse tipo de motor abastecido com gás natural veicular, os dados obtidos com os ensaios realizados servirão para comparação futura na utilização desse mesmo motor sendo alimentado com gás de síntese produzido pelo processo de gaseificação, onde o agente de gaseificação utilizado é o ar, e é chamado de gás pobre por ter um poder calorífico baixo, de 1.700 a 2.600 kcal/Nm<sup>3</sup> (MAKRAY, 1984), isso porque o nitrogênio presente no ar é um gás não comburentes.

Além desta introdução, o trabalho é composto por mais 3 seções. A segunda seção trata da descrição dos equipamentos e materiais utilizados como o gás natural, o gerador, motor, instrumentos de medidas e metodologia utilizada na realização dos testes. Na terceira seção, são apresentados os resultados e discussões de como se comportou o grupo gerador com variação brusca de carga, grandezas elétricas e físicas do conjunto com aplicação de carga e por fim na quarta e última seção são apresentadas as principais conclusões do estudo.

## Materiais e Métodos

### Gás natural

O gás natural liquefeito utilizado no ensaio foi fornecido pela Gastech Gás Natural distribuidora White Martins com respectivo laudo datado de 18/03/2010.

Devido suas características serem semelhantes ao gás de síntese, foram efetuados os testes com o grupo gerador com este gás, para que se pudesse ter uma fonte de comparação futura. A Tabela 1 informa a composição média característica do gás natural veicular utilizado.

**Tabela 1** – Composição média do gás natural utilizado como combustível nos ensaios do grupo gerador, segundo laudo do fornecedor White Martins.

Descrição	valor
Metano (mín.)	91,61% Mol
Etano (máx.)	8,03% Mol
Propano (máx.)	1,57% Mol
Butano (máx.)	0,56% Mol
Oxigênio (máx.)	0,0% Mol
Inertes (N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> )	0,22% Mol
Enxofre total (máx.)	0,0 mg/m <sup>3</sup>
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S) (máx.)	0,0 mg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> (máx.)	0,0% Mol

Fonte: White Martins, 2010.

O gás apresentou as seguintes características físico-químicas:

- poder calorífico superior a 9.400kcal/m<sup>3</sup>;
- densidade absoluta: 0,766 kg/m<sup>3</sup> (a 20°C; 1 atm).

### Gerador

O gerador acoplado ao motor se trata de um síncrono/assíncrono, pois neste tipo de gerador o regulador se adequa á velocidade do rotor, de modo que o escorregamento tenha o valor necessário para produzir a potência ativa solicitado pelo sistema.

Assim sendo, o valor da velocidade de referência ( $W_{ref}$ ) varia com a potência ativa de carga. O gerador de marca KOHLBACH KCEL produz no máximo 50 kVA (potência aparente) ou 40 kW de potência ativa de acordo com seu fabricante e tensões de saída de 127 – 220 v ou 220 – 380 v.

### Motor

Para compor um grupo gerador de 50 kVA, com motor ciclo Otto é necessário um motor com potência maior que os disponíveis no mercado. Deste modo, foi preciso adaptar um motor ciclo Diesel com as especificações necessárias, transformando-o em ciclo Otto.

As alterações, normais para a conversão são as seguintes:

- retirada do sistema de alimentação diesel existente;
- alteração do cabeçote para colocação de velas;
- mudança do sistema de entrada de ar e combustível para a nova característica;
- montagem de sistema de equalização de entrada de gás (necessário para adequar pressão de entrada de gás que é muito baixa para pressão de sucção do motor);
- implantação do sistema de controle de velocidade para garantir estabilidade à rotação do conjunto. (Controle isócrono de velocidade);
- inserção de sonda lambda no sistema para controle da queima;
- instalação de sistema de ignição eletrônica com controle via software;
- sistema de ignição mapeada, que faz via software o monitoramento no sistema de marcha lenta, no avanço da ignição, na injeção de combustível, temperatura do motor.

Todo o sistema de ignição é microprocessado podendo sofrer os mais variados tipos de ajustes

conforme as características desejadas para o motor assim como ajuste de acordo com o combustível e:

- controle de ponto de ignição na partida;
- controle por temperatura;
- controle por MAP (Mainfold air pressure), ou sensor de pressão absoluta. Utilizados para calcular a densidade e temperatura do ar que por sua vez determina a medição de combustível necessário para a combustão otimizada.

Todo o sistema é regulado para abertura e fechamento do corpo borboleta, instrumento este que permite o controle de entrada da mistura ar/combustível adequada, de acordo com a necessidade da carga aplicada ao motor. A Tabela 2 resume as principais características do grupo.

**Tabela 2** – Resumo das principais características técnicas do motor utilizado nos ensaios.

Marca e modelo do motor		MWM D 229-4
Aspiração		natural
Disposição/cilindros	linha	4
Cilindrada total	litros	3.92
Diâmetro X curso	mm	102 x 120
Taxa de compressão		11:1
Potência standby* G.	kW	45
Ger.	kVA	55
Potência prime** G.	kW	38
Ger.	kVA	48
Peso seco		kg 403
		alt. (mm) 880
Dimensões		comp.(mm) 882
		larg. (mm) 721
Sistema de ignição	fabricante	ER-BR
Misturador ar/combustível	fabricante	ER-BR
	modelo/tipo	Mixer 50

\*aplicáveis para fornecimento de energia elétrica (com carga variável) no caso de falha de uma rede pública; \*\*aplicável para fornecimento contínuo de energia elétrica (com carga variável), ao invés de ser comprada comercialmente.

**Fonte:** ER-BR Energias Renováveis, 2010.

## Teste

O dispositivo para teste consistiu em ligar o grupo gerador a um sistema de dissipação de energia elétrica composto de cuba eletrolítica (Figura 1), com caixa de 1.000 litros contendo solução de água com barrilha, sendo as placas de alumínio imersas em altura variável, que se referem às três fases do gerador. A porcentagem de contato dessas placas com a solução cria um curto circuito entre elas, gerando uma resistência elétrica entre as fases. Essa resistência representa a carga do gerador. Para que essa carga possa ser suprida, o motor precisa de mais ou menos torque para conter a demanda da carga aplicada, sempre estável, sem queda de tensão. Para alterações bruscas de cargas o gerador sofre pequenos picos de rotação e conseqüentemente da potência gerada e da qualidade da energia nesse pequeno intervalo de tempo até que se estabilize.

**Figura 1** – Cuba eletrolítica – dispositivo resistivo utilizado para dissipação de energia elétrica produzida pelo grupo gerador.



**Fonte:** O autor.

## Equipamentos e instrumentos de medição

Para manter o controle de rotação e velocidade do gerador foi utilizado o controlador de rotação marca Woodward; para a dissipação de energia elétrica a cuba eletrolítica resistiva; para a medição

da temperatura de escape bem como a identificação da quantidade de combustível não queimado, foi utilizado uma sonda lambda acoplada ao gerenciador de quantidade de combustível marca Landireno, que de acordo com essas informações envia quantidade de combustível adequada ao motor. O consumo de gás foi medido com uma sonda Pitot ligada ao analisador de gás marca Land Gem 2000, a corrente de saída com multímetro marca Minipa 620 e para tensão, corrente, frequência, potências ativa, reativa e aparente, fator de potência e formas de onda foi utilizado um multímetro com função de osciloscópio Fluke 43 Energy Analyser.

Os resultados foram registrados em duas etapas distintas de 0 a 100% de carga, em intervalos de 25% com tempo de 5 minutos para cada patamar de carga até ser alcançado o limite máximo. Em seguida a carga foi reduzida na mesma proporção em sentido inverso.

#### *Realização das medidas*

Os ensaios foram realizados em salão aberto com temperatura ambiente média à sombra de 24,5°C, com a vazão do ar aquecido que passa pelo radiador direcionado para fora do galpão. O motor foi regulado para manter a rotação de 1.800 rpm mais variação máxima de  $\pm 8\%$ . Esta variação é definida (WATSON, 1976) como Droop (inclinação ou queda de velocidade), como sendo uma característica que deve ser incorporada nos reguladores de velocidade responsável para ajuste no suprimento mecânico de sincronização aliado ao controlador de rotação em conjunto com a sonda Lambda, a fim de manter sempre a potência correta requerida, com abertura do corpo borboleta em no máximo 60 graus, podendo chegar aos 90 graus em eventuais solicitações inesperadas, prevenindo assim danos ao equipamento.

Escorregamento é a diferença relativa entre a velocidade síncrona e a parte móvel do motor, denominada rotor. Para geradores de 50 kVA o ideal é entre 5 e 8%, sendo admissível máximo de 13% (CASTRO, 2008).

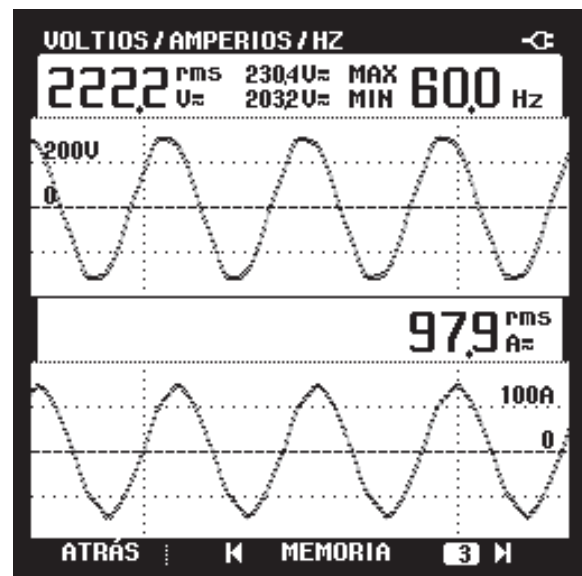
## Resultados e Discussões

### *Variação brusca de carga*

Por variação brusca de carga entende-se que partindo da rotação em vazio do grupo gerador, instantaneamente é inserida a carga máxima suportada pelo grupo.

A aplicação de 100% de carga suportável a um grupo gerador avalia a condição dinâmica do regulador de velocidade transferindo ao gerador uma variação brusca de rotação e tensão para atender esta perturbação. Esta variação é a máxima variação permitida num gerador sem causar problemas ao grupo e à qualidade da energia gerada. A Figura 2 representa a forma de onda gerada com o grupo em carga máxima, onde sofre o maior escorregamento e similar aos picos de carga aplicados. Observa-se uma não linearidade na forma de onda senoidal que representa a tensão e a corrente. Como sofre uma oscilação brusca na corrente, conseqüentemente a tensão é prejudicada considerando-se que a tensão é igual ao produto da corrente pela resistência (Lei de Ohm).

**Figura 2** – Forma de onda registrada pelo Fluke 43 – Energy Analyser no momento de maior carga do gerador. Mesma perturbação apresentada para variação brusca de carga.



Fonte: O autor.

A Figura 3 exemplifica a queda de rotação de acordo com a variação de carga. A variação percentual entre as velocidades nominal em vazio e final, com aplicação de 100% de carga é representada pela Equação 1.

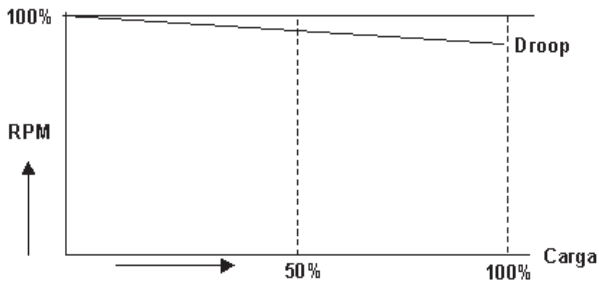
$$\text{Droop} = (\text{rpm}_{\text{nom}} - \text{rpm}_{\text{fin}}) / \text{rpm}_{\text{nom}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: Droop = escorregamento;

Rpm<sub>nom</sub> = rotação nominal;

Rpm<sub>fin</sub> = rotação final.

**Figura 3** – Variação de rotação em função do aumento de carga. Rotação nominal em vazio: 1800.



Fonte: O autor.

Com 100% de carga a rotação reduziu para 1634 rpm, conseqüentemente, o escorregamento foi de 9,21%.

Num motor a gás o Droop medido na prática é bem maior que numa máquina a diesel, porém o atingido pelo grupo foi de 1,21% a mais que o ideal.

*Desempenho do grupo gerador e características das grandezas elétricas fornecidas com cargas variáveis*

As informações do comportamento do grupo gerador estão apresentadas nas Tabelas 5 e 6

constando os pontos principais de monitoramento, essenciais ao funcionamento e ainda como base de comparação para testes futuros utilizando-se gás de síntese. A Tabela 5 apresenta as informações obtidas com o grupo gerador trabalhando em ordem crescente de carga variando de 0 a 100% com intervalos de 25%

**Tabela 5** – Parâmetros monitorados para as situações de ordem crescente de carga (0 – 100%).

Percentual de Carga (%)	0	25	50	75	100
Temperatura água (°C)	65	70	75	75	85
Temperatura óleo (°C)	83	91	94	100	102
Pressão do óleo (bar)	5,3	6,5	6,4	6,5	6,9
Temperatura Escape (°C)	735	735	735	735	735
Consumo de gás natural (m³/h)	2	4,3	6,9	8,4	10,3
Droop (% escorregamento)	1,8	3,3	4,2	7,5	9,21
Rotação (rpm)	1767,6	1740,6	1724,4	1665	1634
% abertura borboleta	18	24	35	43	57

Fonte: O autor.

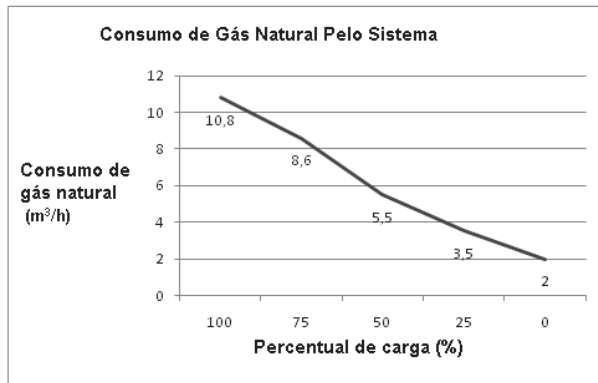
**Tabela 6** – Parâmetros monitorados para as situações de ordem decrescente de carga (100% – 0).

Percentual de carga (%)	0	25	50	75	100
Temperatura da água (°C)	68	70	75	80	85
Temperatura do óleo (°C)	92	101	104	102	102
Pressão do óleo (bar)	5,8	6,5	6,4	6,5	6,9
Temperatura escape (°C)	735	735	735	735	735
Consumo de gás natural (m³/h)	2	3,5	5,5	8,6	10,8
Droop (% escorregamento)	1,8	3,6	5,5	7,7	9,21
Rotação (rpm)	1634	1661,4	1701	1735,2	1767,6
% abertura borboleta	18	24	34	43	57

Fonte: O autor.

Observa-se que o consumo de combustível foi registrado instantaneamente com o Land Gem conforme a variação da carga de acordo com a Figura 4.

**Figura 4** – Consumo de gás natural de acordo com a diminuição da carga aplicada (100% – 0).



Fonte: O autor.

A informação de consumo de gás se torna útil devido à comparação futura com o mesmo grupo alimentado com gás de síntese e também para projeções de utilização deste modelo em aplicações reais. Pode-se observar que o consumo máximo foi 10,8 m³/h com carga total.

*Características das grandezas elétricas fornecida pelo grupo*

Para verificar os valores de frequência, fator de potência, potência ativa, formas de onda referentes à tensão e corrente foi utilizado o Fluke Energy Analyser cujo alguns resultados estão plotados na Figuras 5, 6, 7, 8 e nas Tabelas 7 e 8.

**Figuras 5, 6, 7, 8** – Grandezas de tensão, frequência e corrente registradas com multímetro Fluke Energy Analyser para carga de 25%, 50%, 75% e 100%, respectivamente.

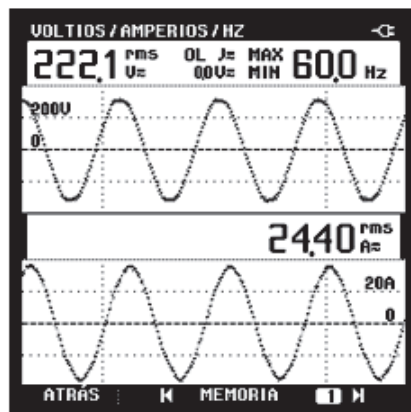


Figura 5: 25% de carga

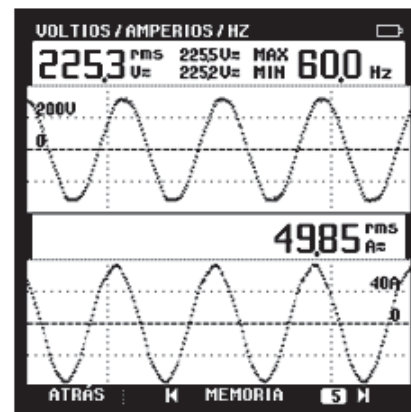


Figura 6: 50% de carga

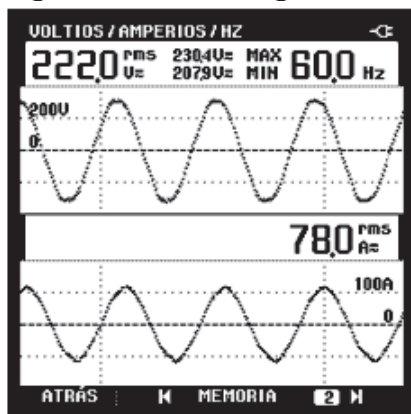


Figura 7: 75% de carga

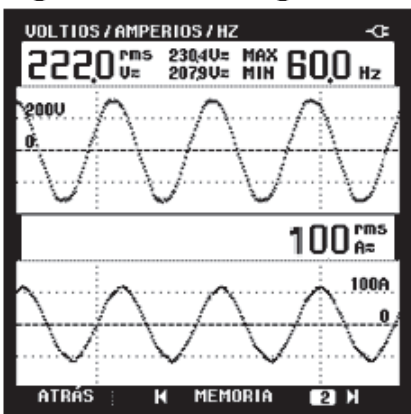


Figura 8: 100% de carga

Fonte: O autor.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram a seqüência de grandezas registradas para 25, 50, 75 e 100% de carga respectivamente. Não se observa variações significativas na tensão, corrente e freqüência.

As Tabelas 7 e 8 apresentam valores de potência ativa, tensão e corrente em ordem crescente e decrescente de carga.

**Tabela 7** – Medidas de potência ativa, tensão e corrente em função da elevação da carga aplicada.

Percentual de Carga (%)	0	25	50	75	100
Potência ativa (kW)	0	9,5	19	27,5	38
Tensão (V)	220	220	221	221	222
Corrente (A)	0	25	50	75	100

Fonte: O autor.

**Tabela 8** – Medidas de potência ativa, tensão e corrente em função da redução da carga aplicada.

Percentual de Carga (%)	100	75	50	25	0
Potência ativa (kW)	38	27,5	19	9,5	0
Tensão (V)	222	221	221	220	220
Corrente (A)	100	75	50	25	0

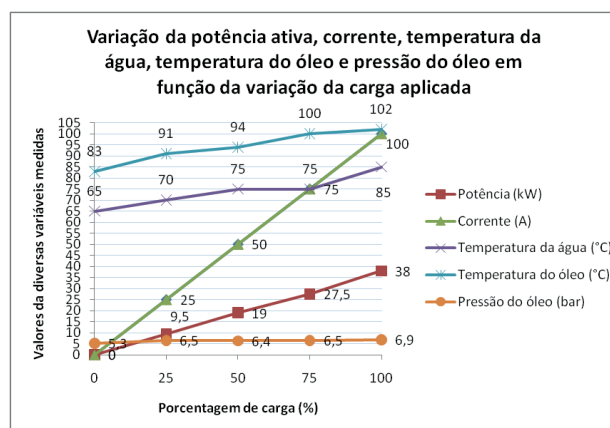
Fonte: O autor.

Tanto em ordem de elevação, como decréscimo de carga, os valores se mantiveram semelhantes. Observa-se que com o máximo de carga aplicada conseguiu-se extrair do grupo 38 kW, ou 43,67 kVA, considerando o fator de potência 0,87 medida no Fluke. Fator de potência é uma relação entre potência ativa e potência reativa. Trata-se da diferença entre o consumo aparente (medido em VA) e o consumo real (medido em watts). Indica a eficiência com a qual a energia está sendo usada. Um alto fator de potência mostra uma eficiência alta e inversamente, um fator de potência baixo indica baixa eficiência. Um baixo fator de potência informa que não está tendo um aproveitamento pleno de energia. O mínimo admissível pelas concessionárias é de 0,92 e varia de 0 a 1.

O valor do fator de potência para carga total foi 0,87 e para 50% 0,86, o que se mostra preocupante. Caso a energia fornecida seja usada como co-geração, injetando-a na rede pública, deverá ser feita a correção do fator de potência, inclusive por se considerar como desperdício de energia. Os níveis de tensão e corrente não variaram significativamente.

Para ajudar na visualização das informações, os resultados mais relevantes são representados nas Figuras 9 e 10, referentes ao momento de testes com elevação de carga a 100% com intervalos de 25%.

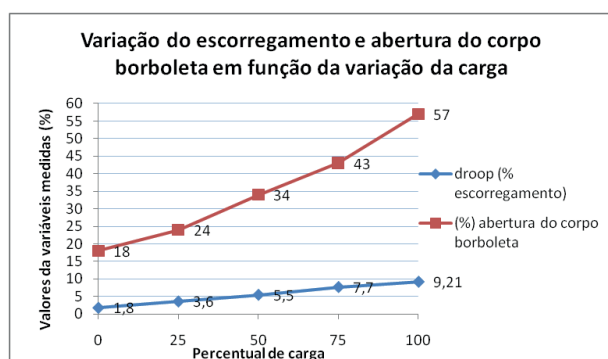
**Figura 9** – Variação da potência ativa, corrente, temperatura da água, temperatura do óleo e pressão do óleo em função da variação da carga aplicada.



Fonte: O autor.

Os valores das variáveis são semelhantes, tanto para aumento da carga, quanto para a diminuição com intervalos de 25%.

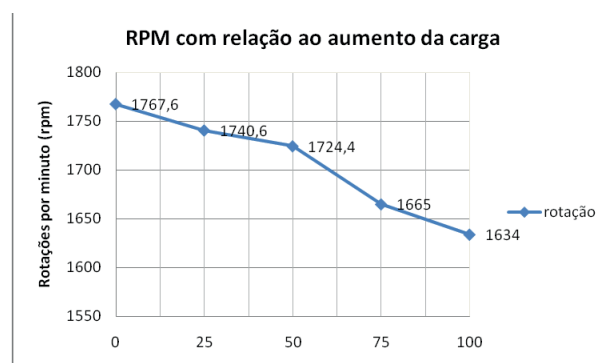


**Figura 10** – Variação do escorregamento e abertura do corpo borboleta em função da variação da carga.

Fonte: O autor.

Importante destacar o escorregamento máximo alcançado de 9,21%, sendo que o ideal é de 8%, porém para motores alimentados com gás natural é de se esperar um escorregamento maior, devido ao torque inferior. A diminuição da rotação conforme o aumento da carga está diretamente ligada ao escorregamento, não influenciando em danos ao equipamento ou energia fornecidos.

A abertura do corpo borboleta manteve-se na faixa dos 60%, atingindo o valor máximo de 57%, dentro do recomendado, também para evitar danos ao equipamento. A Figura 11 ilustra a queda de rotação do motor de acordo com o aumento de carga. A diminuição de velocidade influencia diretamente no escorregamento.

**Figura 11** – Rotação do motor de acordo com a variação de carga.

Fonte: O autor.

Observou-se nos testes que a rotação, potência, tensão, corrente, temperaturas e outras variáveis são semelhantes para a mesma carga, tanto para o aumento da carga, como na redução até o grupo funcionar a vazio.

Por não ser um gerador de tensão ideal com impedância interna nula e sim real há desvios das características ideais, uma vez que os elementos que o formam apresentam diversos tipos de perdas, sendo a mais importante a perda por efeito Joule. O gerador de tensão real pode ser modelado associando-se a perda por efeito Joule a uma resistência interna ( $R_i$ ) em série com o gerador ideal ( $E$ ). Se nenhuma carga é ligada ao gerador, não há queda de tensão na resistência interna, pois não há corrente elétrica, sendo a perda nula, ou seja, a tensão de saída é exatamente a mesma de um gerador ideal sem resistência interna. Efeito Joule diz-se pela relação entre o calor gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo e quanto menor resistência interna do gerador, menor serão as perdas, e, portanto melhor seu rendimento.

Existem também as perdas do próprio motor. Essas perdas estão associadas com perdas por bombas d'água e óleo, ventilação do sistema de arrefecimento, perdas pela combustão não instantânea, perdas pela dissociação do combustível, perdas devido à abertura antecipada da válvula de descarga, perdas pelo calor dissipado, perdas devido à variação dos calores específicos do fluido, entre outras. A tensão se manteve estável dentro dos níveis padrões de qualidade de energia oscilando somente entre 220 a 222V, onde a norma (COPEL, 1999), permite entre 201 a 229V e, proporcionalmente, a corrente aumenta conforme a carga aumenta, chegando num limite final de 100 A para suprir uma carga de 38 kW.

A temperatura ambiente oscilou de 23,9 a 26,2 °C, não interferindo nos resultados, porém a temperatura do gás não deve ser superior a 35 °C para não interferir na diminuição de sua densidade,

e a temperatura da água não deve ser superior a 100 °C para evitar a fervura e conseqüentemente danos ao motor como queima de juntas e empenamento de cabeçote, podendo chegar à sua fundição. O valor máximo atingido com a carga total ficou em 85 °C. A temperatura do óleo atingiu o limite de 102 °C, que realmente deve ser inferior a 130 °C para não interferir na sua viscosidade e conseqüentemente na lubrificação e arrefecimento. A pressão interna atingiu valores de 5,3 a 6,9 bar, considerada normal. A temperatura de escape se manteve estável em 735 °C, não interferindo no sistema.

O consumo com 0, 25, 50, 75 e 100% de carga foi de 2, 4,3, 6,9, 8,4 e 10,3 m<sup>3</sup> respectivamente de gás, e servirá de parâmetro para testes futuros com gás pobre oriundo da gaseificação de biomassa. O Droop calculado foi de 1,8 e 9,21% para a carga nula e máxima respectivamente, considerando a rotação de 1800 rpm.

A sonda lambda funcionou durante todo o teste e a abertura do corpo borboleta variou de 18 a 57% de sua abertura total respectivamente com carga nula e máxima, considerando que totalmente aberta (100%) estaria em 90° e totalmente fechada 0°. Recomenda-se abertura máxima de 60% a fim de garantir uma faixa de sobra para eventuais necessidades se danificar o equipamento. Já com relação à ignição, esta está programada para dar partida adiantada, mesmo assim foi um pouco difícil fazê-lo funcionar, sendo necessário insistir varias vezes na partida até que se estabilizasse.

## Conclusões

1- O grupo gerador apresentou bom desempenho utilizando o gás natural, sem distorções na qualidade da energia elétrica gerada nos patamares de carga de 25, 50, 75 e 100%;

2- Em carga máxima o conjunto produziu 38 kW líquidos, sem perda de qualidade na energia gerada;

3- A energia elétrica gerada apresentou senoidal perfeita, tanto para tensão como para corrente,

porém o fator de potência ficou em 0,87, sendo que o mínimo admissível pelas concessionárias é de 0,92, sendo necessária a correção caso a energia fosse utilizada em paralelo com a rede pública de fornecimento;

4- O consumo de GNV foi de 2 m<sup>3</sup>/h sem carga, 4,3m<sup>3</sup>/h com 25% de carga, 6,9m<sup>3</sup>/h com 50% de carga, 8,4m<sup>3</sup>/h com 75% de carga e 10,3 m<sup>3</sup>/h com carga total.

## Referências

BOSCH, R. *Manual de Tecnologia Automotiva*. 25. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

CASTRO, R. A. *Análise de viabilidade de troca de motores elétricos superdimensionados e a influência da energia reativa*. 2008. Dissertação (Mestrado em em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COPEL. *NTC 901100*. Fornecimento em tensão secundária de distribuição. Curitiba, 1999.

LORA, Electo Eduardo Silva, ANDRADE, R. V., GOMEZ, E. O., SALES, Cristina Aparecida Vilas Boas de, MELO, Braulio Almeida de, SAUVANELL, A. L. B., Merencio, D.O. *Principales resultados de los proyectos en gasificación de biomasa en el Nucleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida de la Universidad Federal de Itajubá en Brasil*. Biomassa & Energia, Viçosa, v.03, p.36 – 47, 2006.

MAKRAY, Z. T. *Gaseificação de madeira em gaseificador co-corrente para produção de gás de médio poder calorífico e gás de síntese*. 1984. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

STONE, R. *Introduction to internal combustion engines*. 6. ed. United States of America: SAE, 1999.

VIANNA JÚNIOR, A. L.; VIEIRA, L. S. R.; SOARES, G. F. W.; NASCIMENTO, M. V. G. *Estudo comparativo de microssistemas de geração baseados em combustíveis*. Rio de Janeiro. Relatório Técnico. CEPTEL, 2001.

WATSON, Wesley H.; BENTLEY, John M. *Droop adjustable control apparatus for direct current motor drives*. U.S. Patent n. 3,991,349, 9 nov. 1976.

*Recebido em 9 Agosto 2012 – Received on August 9, 2012.  
Aceito em 27 Maio, 2013 – Accepted on May 27, 2013.*