

# **ANÁLISE DE SISTEMAS DE MICRO COGERAÇÃO OPERANDO COM CARGAS ELÉTRICAS E TÉRMICAS VARIÁVEIS**

Fábio Santana Magnani - magnani@ufpe.br

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – 50740-530 – Cidade Universitária – Recife - PE

Nazário Rodolfo de Melo - nazario\_melo@uol.com.br

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – 50740-530 – Cidade Universitária

O presente trabalho consiste na simulação computacional de uma planta de micro cogeração, contendo uma microturbina de 30 kW, um grupo moto gerador de 30 kW, um chiller de absorção de 35 kW, um split de 14 kW e um armazenador de água fria de 40.000 litros. O modelo leva em conta demanda elétrica e carga térmica variáveis ao longo do dia e avalia o sistema para diferentes tarifas horo-sazonais ou convencionais. Através de um módulo de configuração de tarefas, é possível modificar o comportamento de cada um dos equipamentos do sistema. Métodos tradicionais de otimização, baseados em derivadas, não são aplicáveis neste caso. Cada modo de operação do sistema determina um VPL diferente. São mais de 330.000.000 configurações possíveis. Uma maneira para se contornar o problema é a escolha judiciosa das variáveis booleanas mais influentes no sistema e tornar as demais fixas. Para a escolha destas variáveis, é necessário um estudo de casos extensivo. O presente trabalho, então, após descrever o modelo, analisa os casos estudados, fornecendo subsídios para uma metodologia de escolha das variáveis mais influentes na redução do VPL.

sistemas térmicos, cogeração, otimização

## **1. INTRODUÇÃO**

Sistemas de cogeração são a solução mais direta para a transição dos combustíveis fósseis para fontes renováveis de energia. Apesar da cogeração usar basicamente a combustão de hidrocarbonetos (combustíveis fósseis ou biomassa), existem duas grandes contribuições, que são o uso mais eficiente da energia e a geração distribuída. A primeira característica diminui a dependência energética em geral (fontes renováveis ou não) e a segunda prepara para a total mudança da matriz energética de combustíveis fósseis para fontes renováveis.

A modelagem de plantas térmicas de cogeração tem sofrido grandes avanços na última década. Por exemplo, Manolas et all (1996) apresentou o uso de algoritmos genéticos na fase de otimização. Accadia (2001) apresentou a comparação entre vários modos de operação em plantas com demanda estática. Gamou et all (2002) otimizou uma planta de cogeração com variações diárias e com incertezas na demanda elétrica.

O presente trabalho lida com a simulação computacional de uma planta de microcogeração. Neste modelo numérico, é possível escolher o tipo de tarifa elétrica horo-sazonal e o modo de operação da planta (mais 330.000.000 modos possíveis de operação). Tanto a demanda elétrica como a carga elétrica, são variáveis ao longo do dia. O sistema modelado é similar a uma planta real que vem sendo

instalada no campus da UFPE. Desta forma, em um futuro próximo, será possível confrontar os resultados computacionais frente aos resultados medidos diretamente na planta.

Matematicamente, o sistema de equações do modelo matemático pode ser classificado como um sistema não-linear diferencial-algébrico com variáveis contínuas e booleanas. Dadas essas características, os métodos clássicos mais eficientes (baseados em derivadas) não podem ser usados. No momento, são usados três métodos: busca exaustiva, busca aleatória e algoritmo genético. Qualquer que seja o método, o número de modos de operação é muito grande. É necessário, adicionalmente, investigar quais as variáveis booleanas são mais significativas na diminuição do VPL, diminuindo o número casos possíveis.

Desta forma, o presente trabalho apresenta a aplicação de uma metodologia para a escolha das variáveis mais influentes. Dada uma configuração básica das chaves do módulo de configuração de tarefas, a curva de demanda elétrica e a curva de carga térmica, o método inverte sucessivamente a posição das chaves, buscando as mais influentes. Trata-se de um trabalho parcial, pois o resultado desta metodologia para a redução de variáveis booleanas, como entrada para o método do algoritmo genético ou busca aleatória, ainda não foi determinado. De qualquer forma, o presente trabalho apresenta-se como um passo necessário para a construção da metodologia total: modelo computacional, determinação das variáveis mais influentes e otimização.

Por questão de espaço, muitas equações e detalhes não puderam ser apresentadas neste trabalho. Para maiores informações, o leitor deve procurar Magnani et al. (2003) e Melo (2004).

## 2. SISTEMA ESTUDADO

A planta modelada é semelhante a uma instalação que vem sendo feita no campus da UFPE. Como a proposta principal para a planta é pesquisa, algumas soluções propostas dificilmente seriam encontradas em um micro sistema de cogeração. Contudo, é importante deixar claro que o modelo aqui apresentado pode ser facilmente aplicado no caso de apenas uma máquina geradora. A especificação completa da planta é a seguinte:

- Uma microturbina de potência máxima nominal de 30 kW;
- Um grupo moto gerador de potência máxima nominal de 30 kW;
- Um chiller de absorção de potência máxima nominal de refrigeração de 35 kW;
- Um sistema de ar condicionado do tipo Split de potência máxima nominal de refrigeração de 14 kW;
- Um tanque acumulador de água fria de 40000 litros;
- Um tanque acumulador de água quente de 3000 litros.

A figura 1 mostra um esquema da planta de cogeração. A microturbina e o grupo gerador são alimentados com o gás natural, gerando energia elétrica. Se a geração de eletricidade for inferior à demanda, compra-se energia elétrica da rede. Os gases de exaustão das duas máquinas saem em direção ao trocador de calor onde água quente será produzida. Após sair do trocador de calor os gases de exaustão se deslocam para o tanque armazenador de água quente.

A água quente que sai do trocador de calor se desloca para o chiller de absorção, que dissipia calor para a torre de resfriamentos e produz água gelada para o ambiente climatizado. No ambiente climatizado, existe um fan-coil que absorve parte da carga térmica. O excesso de carga térmica é absorvido pela unidade evaporativa do Split. Quando a carga térmica é maior que a soma da potência de refrigeração do Split e do chiller de absorção, então a água que vem diretamente do chiller de absorção é acrescida da água que vem do tanque de água fria. Quando a carga térmica é menor, parte da água fria do chiller é encaminhada para o tanque de água fria, armazenando a água para uso em outros momentos.

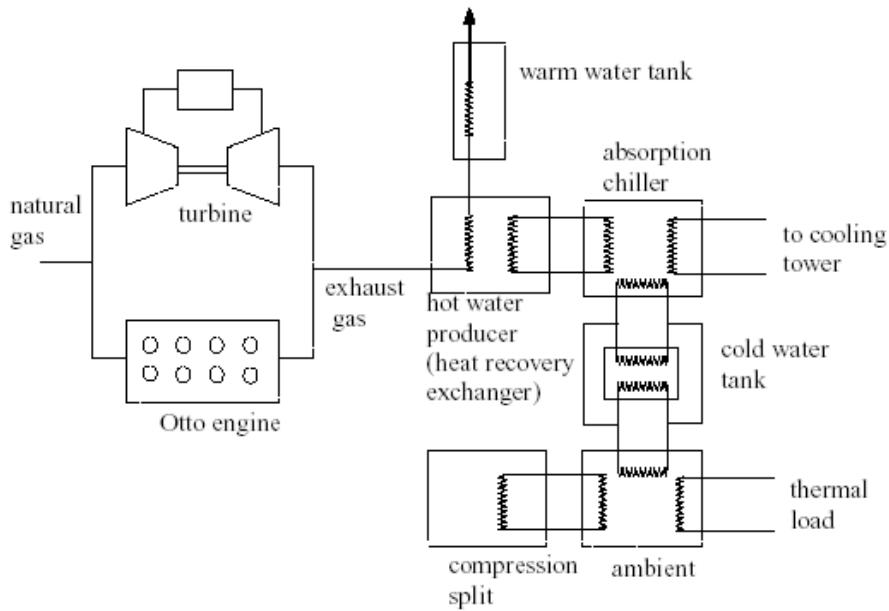


Figura 1 – Esquema da planta de cogeração

Os valores usados para as eficiências foram encontrados no banco de dados dos equipamentos. Desde que o objetivo central deste estudo é a otimização e simulação do sistema como um todo, foram usadas apenas eficiências constantes. O uso de todas as curvas fornecidas pelo banco de dados dos equipamentos será considerado em trabalhos futuros.

As análises termodinâmicas são clássicas, como em Bejan (1988), e a modelagem das equações que governam o sistema é baseada em Stoecker (1989). Apesar das equações dos componentes ser bastante simplificadas, o sistema total (contendo equações algébricas e diferenciais não lineares com variáveis booleanas e contínuas) é bastante complexo. Detalhes específicos para analisar e projetar tecnicamente plantas de cogeração operacionais pode ser encontrado em Horlock (1997) e Orlando (1996), que apresentam maiores diretrizes. Uma descrição um pouco mais detalhada da modelagem do sistema pode ser encontrada em Melo e Magnani (2003).

Para a análise financeira, são calculados os VPLs (valor presente líquido) para cada um dos casos rodados. Esse cálculo leva em conta o investimento inicial para a compra dos equipamentos e instalação da planta e os gastos com compra de energia elétrica e gás natural.

### 3. Módulo de Configuração de Tarefas

O modelo computacional possui cinco módulos de configuração de tarefas. Quatro destes são responsáveis por comandar tarefas para a microturbina, o grupo gerador, o chiller de absorção e o split. Pode-se imaginar o módulo de configuração de tarefas como um sistema de controle (figura 2), que analisa a demanda elétrica, carga térmica e temperatura do reservatório de água fria e, dependendo de como as chaves estão posicionadas, toma a decisão de qual será a geração de energia elétrica (no caso da microturbina ou motor) ou de frio (no caso do chiller de absorção ou split). Uma explicação detalhada da lógica do módulo configuração de tarefas pode ser encontrada em Magnani et al. (2003).

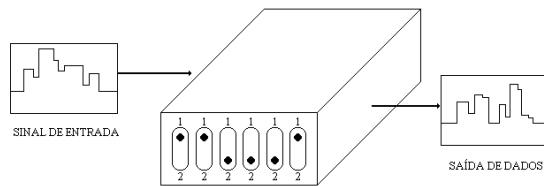


Figura 2 – Representação virtual do módulo de configuração de tarefas

O quinto módulo de configuração de tarefas simplesmente permite a escolha da máquina chamada primária (turbina ou grupo gerador) e o sistema de refrigeração chamado primário (split ou chiller de absorção). O dispositivo primário recebe como entrada todas as cargas do sistema (elétrica no caso das máquinas e térmica no caso do sistema de refrigeração), enquanto o dispositivo secundário recebe como entrada a carga total necessária menos a energia gerada pelo primeiro dispositivo.

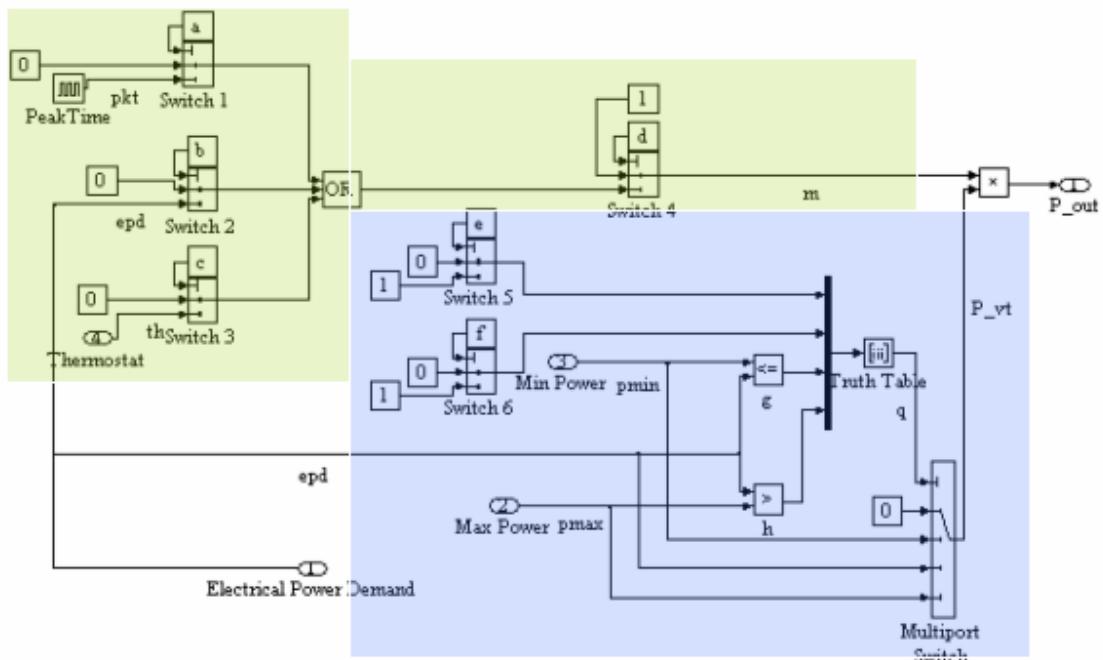


Figura 3 – Diagrama de Blocos do Módulo de Configuração de Tarefas

A figura 3 descreve um dos sistemas de configuração de tarefas numa representação por diagrama de blocos. A área em verde decide se o equipamento será ligado ou não, e a área em azul decide, quando o equipamento estiver ligado, qual será a sua geração.

A função do sistema de configuração de tarefas é analisar os sinais de entrada e decidir qual o valor de potência será comandado para os equipamentos. A decisão é fortemente influenciada pelo estado das chaves. A tabela 1 indica que as chaves ‘a’, ‘b’, ‘c’, ‘d’ decidirão se o dispositivo estará ligado ou desligado (negligenciando o valor da potencia comandada), enquanto as chaves ‘e’ e ‘f’ decidirão o valor da energia gerada quando o dispositivo está decidido para estar ligado.

A tabela 1 explica em detalhes o papel de cada uma das chaves. Como o modelo estudado possui quatro módulos de configuração de tarefas como o da figura 3, há quatro cópia destes. Cada um dos módulos possui 6 chaves. Desta feita, as chaves 1-6 são as chaves a-f do módulo da microturbina,

as chaves 7-12 são as chaves a-f do módulo do motor, as chaves 13-18 são as chaves a-f do módulo do chiller de absorção e as chaves 19-24 são as chaves a-f do módulo do split.

Tabela 1: Comportamento dos módulos de configuração de tarefas.

TABELA EXPLICATIVA DAS CHAVES										
Chaves				Posição 0	Posição 1					
T	M	C	S							
1	7	13	19 <sup>(*)</sup>	Negligencia se está em horário de ponta ou não.				Liga a equipamento no horário de ponta.		
2	8	14	20	Negligencia se existe demanda elétrica.				Liga o equipamento na ocorrência de demanda elétrica (T ou M) ou demanda térmica (C ou S).		
3	9	15	21	Negligencia se a temperatura do tanque de água fria está acima do mínimo especificado.				Liga o equipamento quando a temperatura do tanque de água fria está acima do especificado.		
4	10	16	22	Liga o equipamento durante todo o tempo, sobrepondo as posições das chaves acima.				Mantém a decisão de ligar ou não o equipamento conforme o posicionamento das chaves acima.		
5	11	17	23	Tenta comandar o equipamento a gerar o máximo de energia elétrica (T ou M) ou frio (C ou S) possível.				Tenta modular a geração de energia elétrica conforme a demanda elétrica (T ou M) ou a geração de frio conforme a carga térmica (C ou S).		
6	12	18	24	Não permite que a geração de energia elétrica seja maior que a demanda (T ou M) ou que a geração de frio seja maior que a carga térmica (C ou S).				Permite que a geração de energia elétrica seja maior que a demanda (T ou M) ou que a geração de frio seja maior que a carga térmica (C ou S).		
Chave 25			A microturbina “percebe” toda a demanda elétrica e o motor “percebe” a diferença entre a demanda elétrica e a potência gerada pela microturbina.				O motor “percebe” toda a demanda elétrica e a microturbina “percebe” a diferença entre a demanda elétrica e a potência gerada pelo motor.			
Chave 26			O chiller de absorção “percebe” toda a carga térmica e o split “percebe” a diferença entre a carga térmica e a potência de frio gerada pelo chiller de absorção.				O split “percebe” toda a carga térmica e o chiller de absorção “percebe” a diferença entre a carga térmica e a potência de frio gerada pelo split.			
Chave 27			Possibilita 5 posições para escolha do tipo de tarifa elétrica.							
Legenda: T (Turbina), M (Motor), C (Chiller de Absorção), S: (Split)										
<sup>(*)</sup> No caso do Split, a chave 19, na posição 1, desliga o equipamento no horário de ponta.										

#### 4. CASO BASE

A tabela 2 apresenta o posicionamento escolhido para o caso base. No estudo de casos da seção 5, cada caso estudado mostra o resultado da simulação feita modificando-se a posição de uma das chaves.

Tabela 2: Posicionamento das chaves no caso base

Chave 1: 0	Chave 7: 1	Chave 13: 0	Chave 19: 1	Chave 25: 0
Chave 2: 0	Chave 8: 0	Chave 14: 1	Chave 20: 1	Chave 26: 0
Chave 3: 1	Chave 9: 0	Chave 15: 1	Chave 21: 1	Chave 27: 3
Chave 4: 1	Chave 10: 1	Chave 16: 1	Chave 22: 1	
Chave 5: 0	Chave 11: 1	Chave 17: 0	Chave 23: 0	
Chave 6: 1	Chave 12: 0	Chave 18: 1	Chave 24: 1	

No caso base, a microturbina foi configurada para ligar sempre que a temperatura do reservatório for maior que o mínimo (9 graus Celsius) e, quando ligada, gerar o máximo possível. O motor foi configurado para ser ligado no horário de ponta e, quando ligado, tentar modular a geração à carga elétrica. O chiller de absorção está configurado para ligar sempre que houver carga térmica ou a temperatura do armazenador de frio for superior ao mínimo e, quando ligado, gerar o máximo possível de frio. O split está configurado para desligar no horário de ponta, ligar quando houver carga térmica ou a temperatura do armazenador de frio for maior que a mínima e, quando ligado, tentar gerar o máximo possível de frio.

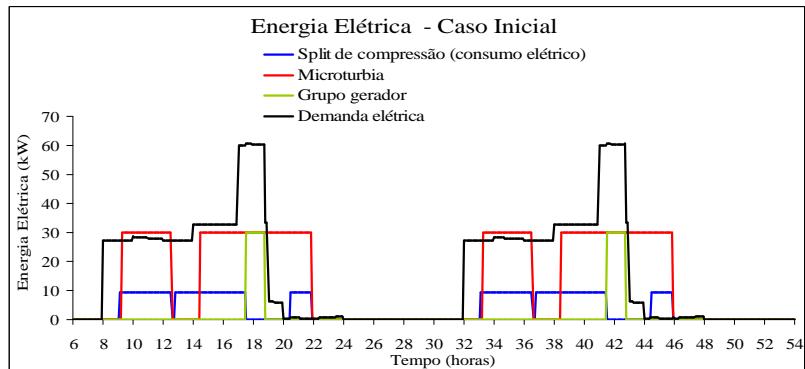


Figura 4: Curvas de energia elétrica no caso base

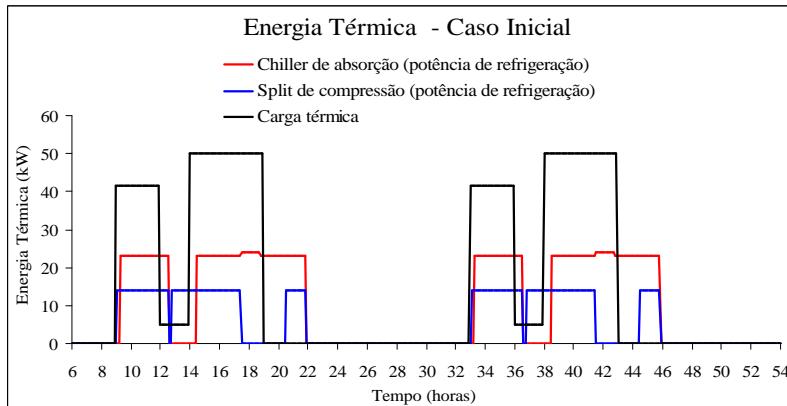


Figura 5: Curvas de energia térmica no caso base

A figura 4 apresenta o comportamento elétrico do sistema de cogeração no caso base descrito acima, em um período de 2 dias. A figura 5 apresenta o comportamento térmico do sistema e a figura 6 apresenta a evolução da temperatura do armazenador de frio durante os dois dias simulados.

Examinando as figuras 4-6 em conjunto, observa-se que a microturbina sempre está gerando o máximo, e está ligada apenas quando a temperatura do armazenador está acima do mínimo. Por outro lado, o motor liga apenas quando ocorre horário de ponta. Embora o motor esteja configurado para ligar sempre que ocorrer demanda elétrica, este, por ser um equipamento secundário (chave 25 na posição 0), “percebe” apenas a diferença entre a demanda elétrica e a potência gerada pela turbina. O chiller de absorção, da mesma forma que a microturbina, permanece ligado enquanto a temperatura do armazenador de frio estiver alta. Acontece algo semelhante com o split, mas, no entanto, este foi configurado para desligar no horário de ponta (chave 19 na posição 1).

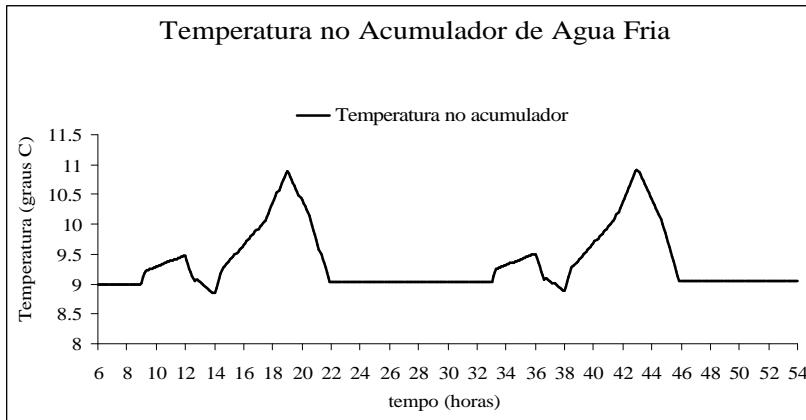


Figura 6: Evolução da temperatura do armazenador de frio no caso base

## 5. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASOS

Foram realizadas três baterias de estudos de casos. Os resultados são apresentados na tabela 3. A linha ‘posição 0’ significa que as chaves estão na posição do caso base, como apresentado na tabela 2. Cada nova linha indica a chave que foi invertida em determinado caso, sempre mantendo todas as outras chaves em conformidade com o caso base (tabela 2).

A figura 7 apresenta as curvas utilizadas nos estudos de casos. O caso 1 foi estudado com as curvas de carga térmica e demanda elétrica inferiores (linhas em preto, na figura 7). O caso 2 foi estudado com a curva de carga térmica inferior (linha preta) e demanda elétrica dobrada (linha verde). O caso 3 foi estudado com a curva de demanda elétrica inferior (linha preta) e carga térmica duplicada (linha azul).

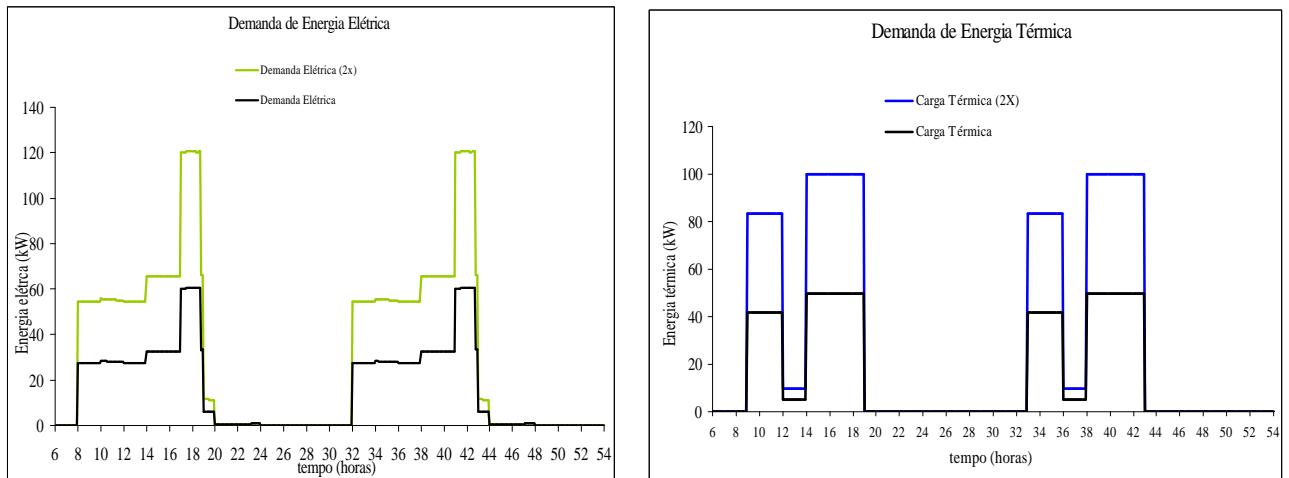


Figura 7: Curvas de demanda elétrica e energia térmica utilizadas

Ainda na tabela 3, ‘VPLoriginal’ significa o valor presente líquido total de um sistema convencional onde toda a energia elétrica é comprada da rede pública (não há microturbina ou motor), todo o condicionamento de ar é gerado por sistemas de refrigeração com ciclos de compressão e não há armazenadores de frio. ‘VPL Total’ indica o valor presente líquido total (investimento inicial mais

consumo de energia elétrica e gás natural traduzidos em valor presente) do sistema de microcogeração proposto. ‘VPL consumo’ indica o valor presente líquido apenas do consumo com energia elétrica e gás natural. A diferença entre ‘VPL Total’ e ‘VPL Consumo’ é o valor presente líquido do investimento em equipamentos e obras.

Tabela 3: VPL dos casos estudados

	Caso1 VPLoriginal 191610.00		Caso2 VPLoriginal 191610.00		Caso3 VPLoriginal 367480.00	
	VPL Total	VPL Consumo	VPL Total	VPL Consumo	VPL Total	VPL Consumo
Posição 0	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 1	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506450.00	174160.00 (17%)
Chave 2	461140.00	158850.00 (36%)	689060.00	356770.00 (12%)	508300.00	176010.00 (18%)
Chave 3	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Chave 4	514510.00	212220.00 (82%)	742410.00	410120.00 (29%)	516000.00	183710.00 (23%)
Chave 5	434290.00	132000.00 (13%)	661290.00	329000.00 (3%)	-1	-1
Chave 6	445700.00	143410.00 (23%)	661030.00	328740.00 (3%)	-1	-1
Chave 7	503880.00	201590.00 (73%)	730780.00	398490.00 (25%)	566690.00	234400.00 (58%)
Chave 8	419140.00	116850.00 (0%)	648630.00	316340.00 (0%)	481100.00	148810.00 (0%)
Chave 9	443690.00	141400.00 (21%)	651350.00	319060.00 (0%)	496580.00	164290.00 (11%)
Chave 10	419170.00	116880.00 (0%)	648660.00	316370.00 (0%)	481130.00	148840.00 (0%)
Chave 11	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 12	445350.00	143060.00 (22%)	671700.00	339410.00 (6%)	508060.00	175770.00 (18%)
Chave 13	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 14	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 15	473860.00	171570.00 (47%)	700190.00	367900.00 (15%)	-1	-1
Chave 16	443420.00	141130.00 (21%)	669900.00	337610.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 17	447020.00	144730.00 (24%)	673400.00	341110.00 (7%)	517010.00	184720.00 (24%)
Chave 18	477500.00	175210.00 (50%)	706200.00	373910.00 (17%)	-1	-1
Chave 19	457450.00	155160.00 (33%)	684080.00	351790.00 (10%)	519310.00	187020.00 (26%)
Chave 20	440590.00	138300.00 (18%)	669520.00	337230.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 21	449650.00	147360.00 (26%)	675560.00	343270.00 (8%)	-1	-1
Chave 22	448120.00	145830.00 (25%)	668310.00	336020.00 (6%)	514660.00	182370.00 (23%)
Chave 23	442590.00	140300.00 (20%)	670880.00	338590.00 (6%)	512690.00	180400.00 (21%)
Chave 24	447990.00	145700.00 (25%)	676630.00	344340.00 (8%)	-1	-1
Chave 25	444290.00	142000.00 (22%)	671760.00	339470.00 (6%)	506190.00	173900.00 (17%)
Chave 26	442270.00	139980.00 (20%)	668700.00	336410.00 (6%)	506450.00	174160.00 (17%)

Entre parênteses, na coluna de ‘VPL Consumo’, é o acréscimo no gasto com energia elétrica e gás natural que ocorre entre o caso ótimo daquele caso estudado (célula em destaque, na mesma coluna) e a célula em questão. Por exemplo, no caso 1, o caso ótimo ocorre quando todas as chaves estão posicionadas no caso base e chave 8 encontra-se invertida. No caso base, então, o gasto com energia (em valor presente) é 21% maior que no caso ótimo.

Os casos indicados pelo valor -1 indicam casos em que a energia de refrigeração total gerada durante o dia (chiller de absorção mais o split) foi inferior à integração da carga térmica ao longo do dia; i.e., o sistema não conseguiu vencer a carga térmica imposta. Em todos os casos, quando a chave 3 foi invertida, a microturbina deixou de ser liga sempre que a temperatura do reservatório estivesse acima de 9 graus Celsius, sendo ligada apenas quando houvesse demanda elétrica. Com isso, o tempo em que a microturbina passou ligada foi menor que no caso anterior, liberando uma quantidade menor de energia para o chiller de absorção e diminuindo a energia total de frio gerada durante o dia. No caso 3 (carga térmica dobrada), ocorre insuficiência de geração de frio com as seguintes mudanças de

chaves: 5 (a microturbina modula a carga, não gerando todo o calor necessário para o chiller), 6 (a microturbina está limitada à demanda elétrica), 15 (o chiller de absorção só é ligado quando há carga térmica), 18 (o chiller de absorção não pode gerar mais que a carga térmica), 21 (o split somente liga quando há carga térmica) e 24 (o split não pode gerar mais do que a carga térmica).

As mudanças nas chaves 8 (o motor é ligado sempre que percebe demanda elétrica) e 10 (o motor é ligado o tempo todo, mas sempre limitado pela demanda elétrica porque a chave 12 está na posição 0) tem o mesmo efeito: fazer com que, durante o dia, quando a demanda elétrica é maior que a geração da turbina, o motor também gere energia elétrica.

No caso 2, quando a carga elétrica foi dobrada, as variações nos VPL foram inferiores do que nos casos 1 e 3. Neste caso, durante quase o dia todo, a diferença entre a demanda elétrica e a geração da microturbina (que é a demanda elétrica percebida pelo motor, já que a chave 25 está na posição 0) era considerável, fazendo com que o motor ficasse ligado praticamente o dia todo.

## 6. CONCLUSÃO

O estudo de casos apresentado neste trabalho, abre a perspectiva de que as chaves mais influentes sejam independentes da evolução da demanda elétrica ou carga térmica, uma vez que, em todos os casos estudados, as chaves 8 e 10 foram as mais influentes na redução do VPL. Essa informação abre a perspectiva de que, independentemente de outros fatores, existem chaves mais influentes do que outras. Isso, de forma absoluta, facilitaria os métodos de otimização usados. No entanto, deve-se levar em conta que o presente estudo limitou-se a considerar variações de demandas e cargas. O caso base não foi modificado. Além disso, variações nas tarifas elétrica e de gás natural e no preço dos equipamentos, como avaliados em Dutra et al. (2003), modificam completamente o VPL da planta.

Os autores não crêem que tenham determinado, de forma absoluta, as chaves mais influentes na redução do VPL, mas que, no entanto, possam utilizar o procedimento usado neste estudo de casos como um estágio de pré-processamento para os métodos de otimização, através da eliminação de variáveis menos influentes na redução do VPL.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP, Petrobrás, Copergás e CAPES pelo financiamento parcial, incentivo e apoio pelo trabalho aqui apresentado.

## 8. REFERÊNCIAS

- Accadia, M.D., 2001, “Optimal operation of a complex thermal system: a case study”, *International Journal of Refrigeration*, Vol 24, No. 4, pp. 290-301.
- Bejan, A., 1988, “Advanced Engineering Thermodynamics”, John Wiley & Sons, New York, USA, 477 p.
- Dutra, J. C. C., Primo, A. R. M., Magnani, F. S., Guerrero, J. R. H., Anselmo Filho, P., Melo, N. R., Soares, R. R. E., 2003, “Estudo Técnico e Econômico de Micro-cogeração em Escala Residencial: Estudo de Caso” VI Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica – CIBEM6, Coimbra.
- Gamou, S., Yokoyama, R. and Ito, K., 2002, “Optimal unit sizing of cogeneration systems in consideration of uncertain energy demands as continuous random variables”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, No. 9-12, pp. 1349-1361.
- Horlock, J.H., “Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics”, Krieger Publishing Company, 1997, 226 p.

- Manolas, D.A., Gialamas, T.P., Frangopoulos, C.A. and Tsahalis, D.T., 1996, "A genetic algorithm for operation optimization of an industrial cogeneration system", *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 20, No. 972, pp. 1107-S1112.
- Magnani, F. S., Usui, T., Primo, A. R. M., Guerrero, J. R. H., Dutra, J. C. C., 2003, "Financial Optimization of Micro Cogeneration Plants Using a Task Configuration System", 17th edition of the International Congress of Mechanical Engineering, São Paulo.
- Melo, N. R., 2004. "Simulação de um Sistema de Micro Cogeração a Gás Natural Usando um Módulo de Configuração de Tarefas para Lidar com Demandas Elétricas e Cargas Térmicas Variáveis". Dissertação de Mestrado em preparação. Prog. Pós-Grad. em Engenharia Mecânica da UFPE.
- Melo, N. R., Magnani, F. S., 2003, "Simulação de um Sistema de Micro Cogeração a Gás Natural", 1o Congresso de P&D Petróleo e Gás da UFPE, 2003, Recife. pp.325 – 331.
- Orlando, J.A., 1996, "Cogeneration Design Guide", Amer. Society of Heating Refrig, USA, 346 p.
- Pansini, A.J., "Engineering Economic Analysis Guidebook", Fairmont Pr, 1995, 238 p.
- Stoecker, W.F., 1989, "Design of Thermal Systems", McGraw-Hill, New York, USA, 565 p.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso no seu trabalho.

### ANALISYS OF MICRO COGENERATION SYSTEMS OPERATING ON VARIABLE ELECTRICAL DEMAND AND THERMAL LOAD

Fábio Santana Magnani - magnani@ufpe.br  
 Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE  
 Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – 50740-530 – Cidade Universitária – Recife - PE

Nazário Rodolfo de Melo - nazario\_melo@uol.com.br  
 Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE  
 Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – 50740-530 – Cidade Universitária – Recife - PE

This work is dedicated to the study of cases of computational model representing a micro cogeneration system with 60 kW of electric power generation, 49 kW of refrigerating power and with an accumulator of cold water of 40000 liters. This specific system was chosen, because an experimental plant with these characteristics will be shortly installed, allowing the verification of the results here presented. The model takes in the variation of the electric demand and thermal load along the day and it evaluates the net present value for the system in each one of the possible tariffs (blue, green and conventional). With a system of task configuration, it is possible to modify the behavior of each one of the equipments of the system. That is, for instance, the microturbine can have as main objective the electric power generation or the generation of hot gases for the absorption chiller. Each way of operation of the system determines different net present value. They are more than 300.000.000 of possible configurations. As the system is modeled by a no-linear system of algebraic and differential equations, with continuous and binary variables, the traditional methods are not applicable. A way to outline the problem is the judicious choice of the Booleans variables more influential in the system and to turn the others fixed. For the choice of these variables, it is necessary an extensive study of cases. This work do a study of 81 runs and presents a methodology to choose the more influential variables in a given case.

thermal systems, cogeração, optimization