

AVALIAÇÃO DINÂMICA DE CICLOS COMBINADOS EM CENTRAIS DE COGERAÇÃO

Alexandre Marcial da Silva

FEG/UNESP - Dep. de Energia - Av. Dr. Ariberto P. da Cunha, 333 - 12516-410 Guaratinguetá-SP
marcial@feg.unesp.br

José Antônio Perrella Balestieri

FEG/UNESP - Dep. de Energia - Av. Dr. Ariberto P. da Cunha, 333 - 12516-410 Guaratinguetá-SP
perrella@feg.unesp.br

Paulo Magalhães Filho

FEG/UNESP - Dep. de Energia - Av. Dr. Ariberto P. da Cunha, 333 - 12516-410 Guaratinguetá-SP
pfilho@feg.unesp.br

Resumo: *Um estudo de despacho de cargas para atender curvas de demanda de calor e de eletricidade de uma unidade fabril pode demonstrar em quais momentos se verifica uma exigência maior ou menor do sistema de cogeração. Como os ciclos combinados têm sido amplamente utilizados para suprir energia em sistemas de geração, e considerando-se os impactos decorrentes de se alterar a condição de projeto das turbinas a gás, diversas são as formas de controle para a variação da carga sobre esse equipamento. Este artigo demonstra uma metodologia para a análise de sistemas térmicos utilizando um software denominado 'COGERADOR'. É prevista a avaliação do desempenho dos componentes para variações na carga como uma forma de controle. Um outro controle avaliado é a flexibilidade de uma turbina a vapor de condensação para suprir variações na carga de energia elétrica, através da definição da quantidade de vapor que passa pela mesma, sem que seja preciso atuar no ponto de operação da turbina a gás. Um programa computacional é desenvolvido para testar as várias combinações utilizando-se estudos de desempenho de sistemas de cogeração com ciclos combinados em cargas parciais.*

Palavras chave: *ciclos combinados, cogeração, otimização multiobjetivo, métodos computacionais*

1. Introdução

As dificuldades encontradas na elaboração de configurações quando da elaboração de projetos de centrais térmicas convencionais e de sistemas de cogeração decorrem da multiplicidade de cálculos que devem ser realizados. Uma vez estabelecida a tecnologia a ser empregada (em geral consideram-se ciclos a vapor, a gás, com motores de combustão interna e combinados) devem ser avaliadas as condições básicas para sua implantação naquilo que poderia ser cunhado por "projeto base", a partir do qual devem ser selecionados equipamentos comercialmente disponíveis que sejam condizentes com tal proposta, para só então verificarem-se as disparidades encontradas e corrigirem-se as mesmas.

No caso específico das centrais termelétricas convencionais, a despeito de suas particularidades, deve-se ter em conta que apenas a geração de energia elétrica é alvo das análises. No entanto, quando do projeto de centrais de cogeração, aumentam-se as variáveis de decisão na medida em que outras formas de energia térmica (vapor saturado ou superaquecido, ar ou água quente, ar ou água gelada) devem ser providas a partir da mesma fonte de energia primária fornecida.

Diversas metodologias, que em muitos casos têm resultado em *softwares* especialistas para o projeto de centrais térmicas, têm sido alvo de diferentes grupos de trabalho (Forbus *et al.*, 1999; Koda e Takahashi, 2002; Manninen e Zhu, 2001).

De acordo com Manninen e Zhu (2001), *"em essência, o processo de projeto é sequencial. Ele começa com a determinação dos objetivos e desenhos conceituais de alto nível, que são avaliados técnica e economicamente quanto à sua viabilidade. Então um processo de síntese de configurações é procedido, no qual diversas alternativas são obtidas, e são então analisadas e avaliadas. Como resultado, a configuração mais viável é determinada. Tal configuração formará a base para um projeto mais detalhado dos seus elementos individuais. O estágio da síntese de configurações é de capital importância, uma vez que as decisões tomadas durante esse estágio ditarão a viabilidade global do projeto. É nesse estágio que os principais ajustes entre variáveis, incluindo eficiência térmica, custo de investimento e flexibilidade operacional, são determinados. A otimização desses ajustes determina as metas ou necessidades para projetos ou subsistemas subsequentes. Em adição, como tal estudo se move em direção a uma condição de projeto detalhado, o problema se torna melhor definido e mais alternativas podem surgir"*.¹

A relação custo/benefício ainda é o principal elemento de análise para projetos de geração elétrica, normalmente intensivos em recursos financeiros. A análise do valor presente líquido do empreendimento, quase sempre em associação com outros modelos de análise financeira (tal como o método da taxa interna de retorno), busca identificar o benefício líquido alcançado por cada uma das configurações sintetizadas, e assim permitir por análise comparativa dar destaque para aquelas com melhores resultados.

Sabe-se, no entanto, que sistemas independentes de geração de energia têm conquistado uma maior importância no setor industrial no que diz respeito a um futuro próximo, em especial pela garantia de um fornecimento energético contínuo e com nível de confiabilidade adequado às condições esperadas para uma adequada inserção no sistema elétrico regional, como parte do planejamento estratégico da indústria, considerando os problemas decorrentes de uma possível parada na produção e a concorrência em um mercado cada dia mais exigente em relação à qualidade e prazos de entrega do produto.

Além disso, as questões ambientais atualmente assumem um papel de destaque em qualquer empreendimento, mormente na geração térmica de energia, pelo que devem necessariamente ser contempladas desde o primeiro momento em que se estruturam projetos dessa natureza. Após o choque do petróleo, na década de 1970, na qual a questão da eficiência energética ficou marcada pela necessidade de redução no consumo, os programas de uso racional de energia incorporaram os aspectos de emissões de efluentes gasosos à sua agenda, dada a condição global representada pelas emissões de NO_x e SO_x, assim como a motivação pela pesquisa de novas fontes de energia e novas tecnologias de conversão energética pautadas numa menor emissão de CO₂ para a atmosfera (Balestieri, 2001).

Uma última e importante consideração que não poderia deixar de ser contemplada é a incorporação das características operacionais dos equipamentos sugeridos para cada configuração. De acordo com uma maior ou menor perda exérgica garantem-se melhores índices de desempenho, que de uma ou outra forma interferem nos custos incorridos pelas configurações.

A busca por ferramentas que ofereçam configurações para sistemas de geração combinada de eletricidade e calor de processo específicas para cada caso, dado o estabelecimento de controles que indiquem a relevância de cada critério a ser otimizado e que permitam o dimensionamento automático da configuração escolhida, realizando sobre a mesma uma análise de sensibilidade para eventuais ajustes, norteia o desenvolvimento do presente trabalho. A partir dos modelos de otimização são geradas diferentes configurações e, através de uma análise de sensibilidade, é possível sair do ponto ideal de modo a se adequar o sistema, por meio de equipamentos comercialmente disponíveis, a uma realidade mais próxima dos valores ótimos dos parâmetros.

Dado o grande número e variedade de máquinas que podem compor o sistema de cogeração percebe-se uma certa complexidade de manipulação das variáveis para a definição da configuração e para o dimensionamento do sistema. Deste modo, cabe aqui o desenvolvimento de uma metodologia que permita a automatização das possibilidades de arranjos entre as máquinas.

¹ p. 142 (tradução livre do original pelos autores do presente artigo).

2. Criação de um Módulo Geral de Projeto de sistemas térmicos de geração

A modelagem de sistemas térmicos apresenta suas particularidades, em especial quando se consideram os sistemas de cogeração, que têm os custos das energias resultantes vinculados (aumentar, por exemplo, o custo da eletricidade significa reduzir o custo do vapor de processo, e vice-versa) e podem acomodar, de acordo com as proporções envolvidas nas formas de energia produzidas (a razão entre a capacidade de produção de energia térmica relativamente à produção de energia elétrica²), uma grande diversidade de tecnologias e equipamentos que exigem uma série de cálculos repetitivos.

Uma referência bastante esclarecedora acerca da modelagem do projeto de sistemas térmicos de geração é o artigo de Sciubba (1998), cujas características mais importantes são aqui consideradas. A partir de um problema simples, o projeto de um ciclo combinado turbina a gás – caldeira de recuperação – turbina a vapor, o autor estabelece as condições básicas para o estabelecimento de um arranjo de máquinas térmicas a partir da definição de um valor de potência elétrica e da quantidade de calor a ser recuperada dos gases de exaustão para atender às necessidades térmicas do processo produtivo a ser associado a essa unidade. Após terem sido as considerações termodinâmicas clássicas apresentadas, o autor conclui: *“este tipo de solução pode ser bastante tedioso, especialmente se diferentes conjuntos de valores de projeto devem ser considerados – e tal fato é bastante sujeito a erros humanos (erros de cálculo)”*. A isto, chama de um procedimento de cálculo e assume como um exemplo de quão desejável se torna o desenvolvimento de um método automático, assistido por computador.

Bejan *et al.* (1996) identificam duas vertentes para os modelos de otimização, que são:

- **otimização estrutural ou de projeto:** a relação dos equipamentos selecionados na fase de síntese e/ou suas interconexões é alterada de modo a se obter um projeto superior;
- **otimização de parâmetros:** as variáveis de interesse na análise, assim como as variáveis de decisão de vários pontos do sistema, são determinadas, ao menos aproximadamente, com a intenção de se satisfazerem certos objetivos (principalmente pela alocação de fluxos internos e produtos).

Os modelos de otimização conduzem a solução do problema a resultados ótimos, que, no entanto, dependerão do objetivo definido, assim como das restrições estipuladas. A complexidade da solução será maior se múltiplos objetivos, conflitantes, são estabelecidos. A escolha do modelo mais adequado para cada problema depende de suas características e dos objetivos perseguidos. A figura 1 ilustra a proposta de Bejan *et al.* (1996), que é apresentada em versão similar por Lozano (1993).

Com base nessas premissas, e considerando-se a disponibilidade de um modelo multiobjetivo para seleção de configurações de forma automatizada (Balestieri, 1994; Balestieri e Correia, 1997), decidiu-se elaborar, a partir da linguagem computacional do programa comercial para desenvolvimento de sistemas Delphi, um sistema que possibilita o uso automatizado de ferramentas de análise termodinâmica e de otimização matemática, bem como a automatização das principais tarefas necessárias para compor um sistema de geração térmico. A interface de entrada do programa pode ser vista na figura 2.

A estrutura do programa em desenvolvimento aproveita o módulo básico do modelo multiobjetivo – que dispunha originalmente de entrada de dados, estabelecimento dos critérios e o módulo de otimização propriamente dito – para, com modificações que visam adequá-lo à nova estrutura computacional, incorporar três novos módulos: o de seleção de turbinas a gás comerciais, o de dimensionamento do conjunto turbina a gás/caldeira de recuperação e o de análise *off-design* das turbinas selecionadas.

² Termo registrado na literatura técnica como razão calor de processo por potência, ou *heat to power ratio*.

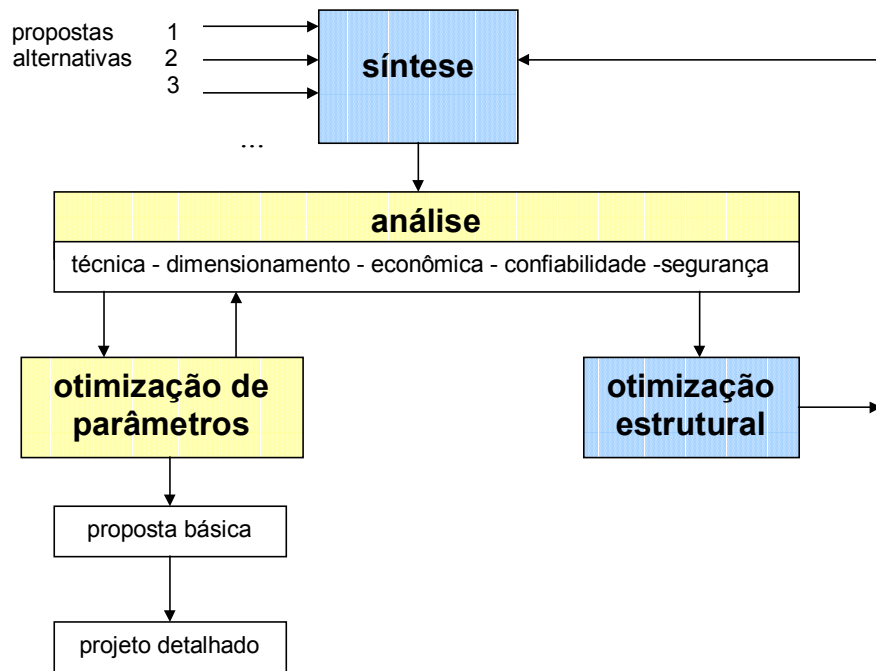


Figura 1 – Proposta de otimização de Bejan *et al.* (1996)

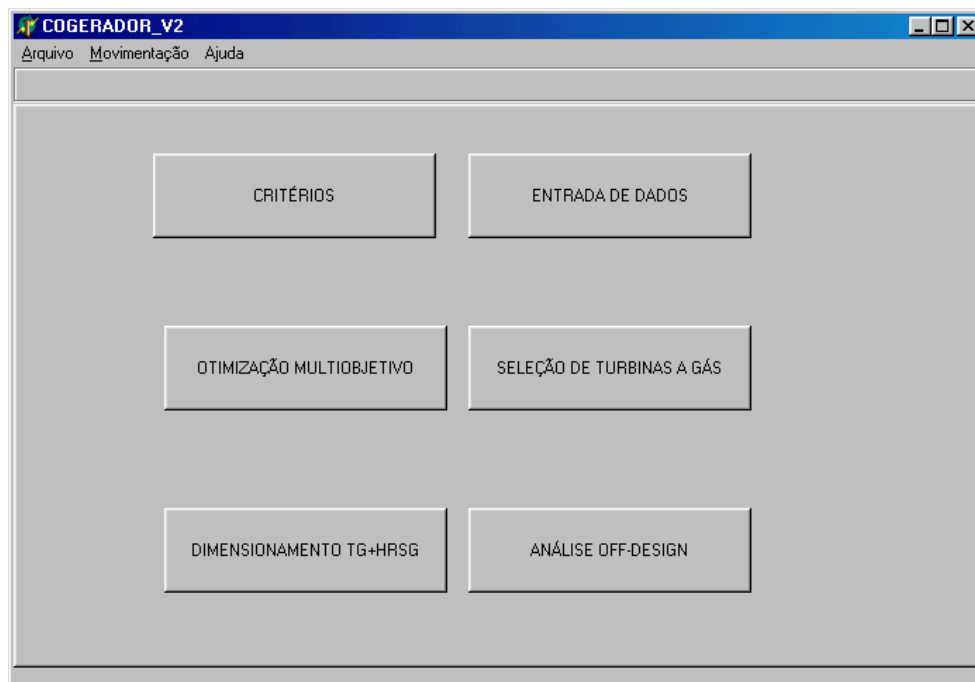


Figura 2 – Interface de entrada do software ‘COGERADOR’

Estruturou-se, então, um conjunto de componentes que, interligados, formam um grande sistema de geração combinada de calor e potência, cuja configuração abrange uma boa parte das possibilidades de arranjos para essas máquinas. Esse conjunto amplo de possibilidades, conhecida na literatura como "super-estrutura" e aqui denominada “Módulo Geral de Projeto” (veja discussão ampliada em Silva, Holanda, Balestieri e Magalhães Filho, 2002), compõe-se de dois grupos de três caldeiras convencionais de geração de vapor de alta e média pressão, respectivamente, cinco módulos de potência formados pelo conjunto turbina a gás associadas à caldeiras de recuperação e de nove turbinas a vapor, sendo algumas de condensação e extração, conforme a figura 3.

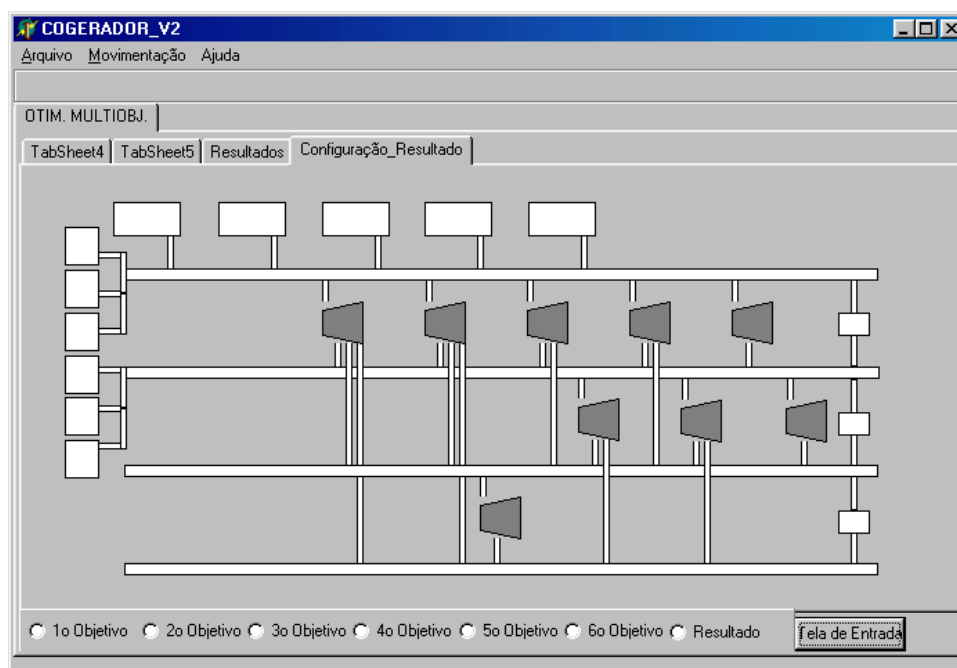


Figura 3 – Módulo Geral de Projeto

Esse arranjo de máquinas é avaliado neste trabalho por três ferramentas que foram desenvolvidas separadamente e discutidas nos sub-ítems que seguem, fazendo-se saber que no código computacional "COGERADOR" as mesmas se complementam para a determinação e dimensionamento de uma configuração ótima para os critérios estabelecidos a priori.

3. Otimização Multiobjetivo

O sistema se inicia pelo estabelecimento das demandas térmicas e elétricas que se esperam do processo, sendo que no mesmo é admitido o atendimento preferencial da demanda térmica (paridade térmica). Uma interface de entrada de dados requisita do analista o preenchimento de todas as variáveis necessárias para iniciar a composição do sistema (na versão básica, o código computacional requer as condições de vazão em massa, pressão e temperatura dos fluxos térmicos, além da necessidade de potência elétrica demandada pela unidade de processo como um todo).

Nessa mesma interface são definidas as capacidades mínimas e máximas dos geradores de vapor e dos fluxos que passam pelas turbinas a vapor. O código computacional, a partir das condições termodinâmicas, calcula as entalpias e entropias de cada uma das principais linhas de vapor, sendo utilizadas para tanto as equações recursivas apresentadas em Malhotra e Panda (2001). Por programação, são estabelecidos os limites operacionais das máquinas obtidos em catálogos de fabricantes para que os mesmos atuem dentro da curva de operação e é verificado o atendimento das leis da termodinâmica de maneira a não permitir o uso de valores inconsistentes ao programa ou valores que contrariem a 2ª Lei da Termodinâmica.

A metodologia de otimização utilizada é composta pelo uso de grafos generalizados, programação inteira-mista e programação multiobjetiva, modelo desenvolvido por Balestieri (1994), que visa a otimização de seis critérios como descritos a seguir:

- Mínima irreversibilidade;
- Mínima emissão de CO₂;
- Mínima emissão de SO₂;
- Mínima emissão de NO_x;
- Máxima confiabilidade; e
- Máximo benefício líquido.

A metodologia de otimização multiobjetiva é aplicada sobre o módulo geral de projeto e, como resultado, são obtidas soluções "quase ótimas", já que alguns dos critérios são conflitantes e o objetivo do programa é oferecer configurações baseadas nos seis critérios anteriormente apresentados para que o analista encontre uma solução de consenso.

O procedimento operacional do modelo pode ser encontrado em Balestieri (1994), mas de forma resumida o código computacional oferece duas alternativas para as quais o usuário do programa deve informar, de modo interativo, sua maior ou menor preferência através de uma "barra de rolagem" que se aproxima, numa escala de 0 a 100%, das opções em questão. A primeira configuração gerada, por decisão de projeto, é aquela de máximo benefício líquido, ao passo que a segunda é obtida por uma função utilidade que pondera a opinião do usuário entre todos os critérios considerados (na versão básica, o maior peso está na função de máximo benefício líquido, secundado pelo de mínimas emissões, e o restante dividido entre confiabilidade e irreversibilidade). O código computacional apresenta saída de resultados parciais (para cada um dos critérios) e o resultado final para a configuração selecionada. Um exemplo do resultado desta primeira etapa pode ser visualizado na figura 4 para o critério de máximo benefício líquido.

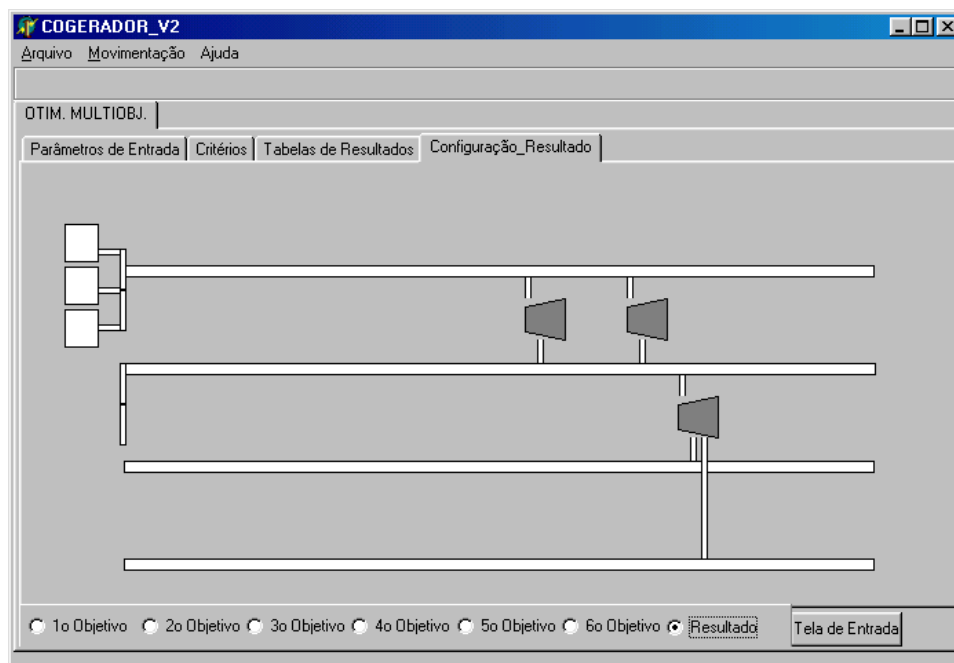


Figura 4 – Configuração proposta de máxima rentabilidade para dada demanda térmica

4. Seleção de turbinas a gás

Os resultados oriundos do modelo objetivo, ainda que se aproximem da condição de ótimo, não sofreram a necessária adequação aos valores comercialmente disponíveis para cada um dos equipamentos selecionados. Nesse ponto, cabe salientar que será necessária inicialmente a seleção dos equipamentos comerciais para que então sejam procedidos ajustes de valores de vazão e potência. A configuração fixada como resultado final da análise de otimização multiobjetivo não deve, em princípio, ser alterada à exceção do processo como um todo ser entendido como inviável, caso em que o processo de síntese de configurações através do módulo de otimização multiobjetivo deve ser reiniciado.

Numa segunda etapa da análise, considerando-se o grande número de máquinas comerciais existentes, principalmente no que diz respeito a turbogrupos a gás, é incorporada uma ferramenta computacional que percorre todos os campos do banco de dados previamente inserido em busca de equipamentos reais que possuam parâmetros operacionais (geralmente temperatura e fluxo de massa

dos gases de exaustão) que atendam às necessidades térmicas demandadas no arco correspondente ao turbogruppo em análise.

O processo de seleção de turbinas a gás considera um volume de controle tomado sobre o conjunto turbina a gás – caldeira de recuperação, e na versão básica do atual código computacional está prevista a estratégia de paridade térmica das unidades de processo para a escolha dos equipamentos (uma versão mais elaborada deverá também contemplar a decisão do usuário para o emprego da estratégia de paridade elétrica). O desenvolvimento da metodologia de seleção de turbinas a gás pode ser encontrada em Silva (2000) e Silva, Magalhães Filho e Balestieri (2002), onde são apresentados os mecanismos utilizados na seleção automática das máquinas comercialmente disponíveis, modelo este desenvolvido originalmente em *Visual Basic for Applications*. A lógica de seleção foi traduzida para o Delphi, que é a linguagem utilizada para a confecção do programa do código computacional aqui apresentado, e sua interface de comunicação com o usuário pode ser visualizada na figura 5.

Cod	Fabricante	Modelo	Ano	ISO Base	Heat Rate	Pressure Ratio	Mass	Exhaust
14	GE Aero Energy	LM2500 STIG	1986	26503	8673	20	167	927
15	GE Aero Energy	LM2500+	1997	29316	9629	23	197	911
16	GE Aero Energy	LM6000	1992	43062	8538	30	285	787
17	GE Aero Energy	LM6000 Sprint	1997	48085	8646	30	294	842
18	GE Aero Energy	LM2000	0	19510	9811	20	147	871
19	GE Aero Energy	LM2500	1973	24049	9716	20	157	955

Cod	Fabricante	Modelo	Ano	ISO Base	Heat Rate	Pressure Ratio	Mass	Exhaust
14	GE Aero Energy	LM2500 STIG	1986	26503	8673	20	167	927
15	GE Aero Energy	LM2500+	1997	29316	9629	23	197	911
16	GE Aero Energy	LM6000	1992	43062	8538	30	285	787
17	GE Aero Energy	LM6000 Sprint	1997	48085	8646	30	294	842
18	GE Aero Energy	LM2000	0	19510	9811	20	147	871
19	GE Aero Energy	LM2500	1973	24049	9716	20	157	955

Figura 5 – Interface de seleção de turbinas a gás comercialmente disponíveis.

Uma vez selecionadas as turbinas a gás é possível, a partir dos parâmetros operacionais reais de cada máquina escolhida, definir-se a análise termodinâmica dos demais equipamentos do sistema, agora pautado nos valores reais de equipamentos comerciais, obtendo-se assim as condições reais de vazão em massa de vapor, gases de exaustão e combustíveis, de modo a permitir o dimensionamento de todos os componentes do sistema, inclusive pela definição da capacidade operacional dos demais componentes.

5. Análise Off-Design

Esta etapa realiza uma análise de operação de alguns componentes do sistema operando fora do seu ponto de projeto. No caso das turbinas a gás são consideradas as correções necessárias para compensarem-se os desvios na potência líquida gerada e eficiência (ou *heat rate*, guardadas as proporções conceituais) decorrentes de sua condição em carga parcial, ao passo que para as turbinas de condensação a análise de sua flexibilidade na partição do vapor entre as extrações e a condensação é feita de modo a que se obtenha uma adequação do sistema para ajustar-se à demanda térmica ou elétrica, provendo diferentes patamares para a relação calor/eletricidade.

Um banco de dados com o desempenho de turbinas a gás fora de seu ponto de projeto foi adicionado ao programa, com dados retirados do software comercial IPSE Pro. O banco de dados do referido programa conta com os dados de carga parcial de cerca de 23 turbinas a gás, que apresentam índices de correção para condições de 50, 75, 90 e 100% da carga.

No sistema de análise sobre a caldeira de recuperação, obtém-se seu desempenho para valores intermediários do fluxo de massa de vapor, bem como o controle do *pinch point*.

O uso de turbinas a vapor de condensação com extrações permite uma maior flexibilidade na operação do sistema em relação ao despacho das energias térmica e elétrica, sendo avaliada a viabilidade econômica de seu uso.

Turbinas a vapor de contrapressão pura e contrapressão com extrações possuem um menor custo em relação às de condensação, podem gerar uma quantidade fixa de eletricidade para complementar a demanda elétrica e fornecer vapor para processos industriais com pressões e temperaturas definidas.

Uma implementação possível e em desenvolvimento para a condição de análise *off-design* do código computacional que aqui se apresenta consiste em permitir tanto a avaliação da configuração básica proposta no módulo de otimização multiobjetivo quanto variações da mesma. Dessa forma, deverá ser possível escolher, dentre as opções do banco de dados, quais máquinas comporão o sistema, definindo sua localização no Módulo Geral de Projeto, o tipo, a capacidade e a quantidade de máquinas que estarão presentes na configuração a ser analisada, operando dentre os limites estabelecidos no banco de dados e limites estabelecidos no Módulo Geral de Projeto.

Na figura 6 pode ser vista uma das opções oferecidas ao analista do sistema, a definição das turbinas a gás, a partir da qual poderá ser assumido um dos quatro diferentes pontos de carga para a turbina a gás, obtendo-se do banco de dados os valores de potência, fluxo mássico e temperatura dos gases de exaustão para diferentes valores de carga.

Figura 6 – Interface para análise *off-design* dos componentes.

5. Conclusões

A crescente participação dos ciclos térmicos para geração de energia elétrica, bem como sistemas de cogeração, tem sido responsável por um desenvolvimento metodológico significativo em anos recentes.

A disponibilidade de *softwares* comerciais para o projeto de centrais térmicas (muito embora, em meio à multiplicidade disponível, encontram-se desde aqueles com custo de aquisição razoável até os de valor exorbitante) tem estado restrita, preponderantemente, aos modelos de composição de configurações por arraste de ícones e aos modelos de configurações fixas, nas quais é dado ao usuário apenas dispor de variações sobre uma faixa limitada dos valores padronizados.

O programa apresenta resultados promissores para a execução de análises das configurações propostas e sua metodologia demonstra alguns dos passos necessários para interligar as diferentes modelagens necessárias para o dimensionamento de um sistema de cogeração. Sendo este um software que ainda se encontra em fase experimental, admitem-se alguns valores aproximados, podendo ser realizada a comparação entre diferentes configurações e para a avaliação de tendências de modo a obter uma maior compreensão das inter-relações das variáveis que compõem o sistema.

O diferencial do presente modelo, cujas principais características do código computacional a ele associado procurou-se apresentar no presente artigo, talvez resida justamente no fato de o modelo de otimização multiobjetivo ser dotado, por meio de interações com o usuário e pautado em diferentes critérios de cunho tanto técnico quanto econômico, de características ainda pouco exploradas na literatura técnica, além de estar associado a estruturas de bancos de dados que permitem traduzir os resultados "quase-ótimos" obtidos pela modelagem matemática em equipamentos e sistemas comercialmente disponíveis.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio prestado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), através do processo nº 00/05902-2.

7. Referências

- Balestieri, J.A.P., 2001. Avaliação tecnológica e metodológica para o planejamento de centrais de cogeração. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina/CAPES. Relatório Final de Pós Doutorado.
- Balestieri, J.A.P., 1994. Planejamento de centrais de cogeração: uma abordagem multiobjetiva. 148 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Departamento de Energia) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- Balestieri, J.A.P., 1997. Correia, P.B. Multiobjective linear model for pre-feasibility design of cogeneration systems. *Energy*, v. 22, n.5, p. 537-548.
- Bejan, A., Tsatsaroni, G., Moran, M. Thermal design and optimization. John Wiley, N.Y, 1996.
- Cohen, H., Rogers, G. F. C., Saravanamutto, H. L. H., 1987 "Gas turbine theory" 3 ed. Singapura. Ed. Longman, 414 p.
- Forbus, K.D. et al., 1999. "CyclePad: An articulate virtual laboratory for engineering thermodynamics", *Artificial Intelligence*, Vol. 114, pp. 297–347.
- IPSE Pro. Model Development Kit (IPSE Pro MDK), 2002, SimTech Simulation Technology, Graz, Áustria.
- Koda, E., Takahashi, T., 2002. "Development of general-purpose software to analyze the steady state of power generation systems", *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, pp. 1407–1416.
- Lozano, M.A., 1993. Termoeconomia. Brochura, Universidade de Zaragoza, Espanha.
- Malhotra, A., Panda, D.M.R., 2001, "Thermodynamic properties of superheated and supercritical steam", *Applied Energy*, Vol. 68, pp. 387–393.
- Manninen, J., Zhu, X.X, 1999. "Optimal flowsheeting synthesis for power station design considering overall integration", *Energy*, Vol. 24, pp. 451-478.
- Sciubba, E., 1998. Toward automatic process simulators: Part 1 – modular numerical procedures. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, v. 120, p. 1-8.

- Silva, A. M., 2000. Desenvolvimento de um modelo computacional para simulação de ciclos combinados. 95 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá.
- Silva, A. M., 2002. Magalhães Filho, P., Balestieri, J.A.P. Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para seleção de turbinas a gás comerciais. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2002, João Pessoa, Paraíba.
- Silva, A. M., 2002. Holanda, Balestieri, J.A.P., Magalhães Filho, P. Simuladores para análise de projetos de sistemas de cogeração. IV Encontro Nacional de Engenharia e Ciências Térmicas, ENCIT 2002, Caxambu, MG.
- Van Wylen, G. J., Sonntag, R. E., Borgnakke, C., 1997. “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”. 4^a ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher.

Title: DYNAMIC EVALUATION OF COMBINED CYCLES IN COGENERATION SYSTEMS

Abstract: *The load dispatch study for thermal and electrical evaluation of an industrial process may demonstrate the time intervals in which cogeneration system is demanded. As combined cycles have been largely utilized in energy generating systems and considering the impacts over efficiency when gas turbines are taken in an off-design condition, there are several control methods for the load applied. This article presents a methodology for thermal systems analysis by means of using the software “cogerador”. A performance evaluation of components is considered as a control technique, as well as the condensing steam turbine flexibility for accommodating electric load fluctuations by means of the steam flow control, thus avoiding taking gas gas turbine from its design point. A computational tool for evaluating different schemes according to real performance curves for combined cycles is also presented.*

Keywords: *combined cycles, cogeneration, multiobjective optimization, computational methods*