



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT/12

**17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO II
GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS (GPT)**

A COGERAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA NA ADMINISTRAÇÃO DE ENERGIA

Plínio Barbosa Pires *

RESUMO

O atual cenário de competição e reestruturação por que passa o País e particularmente o Estado de São Paulo levou a Secretaria de Estado de Energia de São Paulo, através da Agência para Aplicação de Energia, a desenvolver ações voltadas para a administração energética. Entre os diversos temas abordados destaca-se a introdução da cogeração como mais uma opção na administração da energia em sistemas que visem a autoprodução ou a produção independente. Este trabalho apresenta os conceitos básicos que envolvem os sistemas e fornece subsídios que permitem uma análise preliminar da viabilidade de sua implantação.

PALAVRAS-CHAVE

Cogeração - Administração de Energia

1.0 - INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica no Brasil é caracterizada por ser essencialmente hidráulica e por ter concentrado elevados investimentos do Estado. O esgotamento dos grandes potenciais economicamente aproveitáveis, os escassos recursos financeiros existentes, a reestruturação do setor elétrico e a introdução de novos conceitos de comercialização e produção de energia, tornam de fundamental importância a utilização de outras fontes e a introdução de novos sistemas para a continuidade do desenvolvimento do Estado de São Paulo.

A cogeração é uma dessas alternativas, pois sua introdução nos atuais sistemas de produção significa um novo negócio para a iniciativa privada, garantia de qualidade e custo competitivo no atendimento e a

formação de uma base térmica que poderá representar uma das soluções mais interessantes para garantir um desenvolvimento sustentável nos próximos anos.

A principal diferença entre este conceito e o da produção de energia elétrica através de uma termoeletrica convencional, é que na cogeração o calor contido na saída do sistema, é ainda de alguma forma aproveitado.

2.0 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

As principais características dos sistemas de cogeração podem ser resumidas nos seguintes itens :

- A flexibilidade do sistema permite a utilização de vários insumos disponíveis na região com um maior aproveitamento energético (levar em conta na análise os custos de transporte, armazenagem, pré-aquecimento, manutenção de temperatura, etc.);
- Menos perdas nos sistemas de transmissão, distribuição e conexão, além da atual escassez de bacias hidrográficas favoráveis;
- A eletricidade liberada dos sistemas elétricos com a entrada de sistemas cogeneradores, possibilitará a melhora da confiabilidade e retardará a entrada de usinas termoeletricas convencionais e hidroeletricas menos competitivas diminuindo desta forma os impactos ambientais (formação de lagos, utilização de sistemas menos eficientes, etc.);
- Na cogeração teremos a descentralização dos investimentos e a participação da iniciativa privada na expansão do sistema elétrico;
- O aumento da potência instalada em sistemas cogeneradores pode ser feito de uma maneira modular desde que as características técnico/econômicas da unidade permitam e não em grandes blocos como em hidroeletricas e unidades termoeletricas;

- Maior independência e flexibilidade energética da unidade e das concessionárias em relação ao suprimento e ao custo da energia;
- Formação de uma base térmica que possibilitará o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis;
- Melhor aproveitamento energético global.

3.0 - TIPOS DE COGERAÇÃO

A cogeração é um processo seqüencial, isto é, a energia não aproveitada em um determinado momento, basicamente na forma de calor, pode ser utilizada como fonte de energia em outro.

A entrada de um sistema cogrador na matriz energética pode ser feita, principalmente, com a utilização de turbinas a vapor, turbinas a gás, ciclo combinado, motores de combustão interna e ciclos de absorção.

A escolha de um dos sistemas, por permitirem diferentes configurações, deve levar em conta a viabilidade técnico-econômica, as necessidades estratégicas da unidade, a possibilidade de comercialização ou transporte de eletricidade e outras variáveis características do projeto como disponibilidade de água, espaço para a instalação, combustível, impactos ambientais, etc.

3.1 – Cogeração com turbinas a vapor

Sistemas de cogeração com turbinas a vapor são compostos basicamente por caldeira de vapor superaquecido, turbina a vapor, redutor e equipamento acionado (por ex.: alternador).

O combustível queimado na caldeira tem a maior parte de sua energia utilizada para a produção de vapor a alta pressão e temperatura. Este vapor, na maioria dos casos, é utilizado para o acionamento da turbina antes de ser entregue ao processo produtivo da unidade ou comercializado.

Esse tipo de cogeração permite utilizar combustíveis menos nobres, mais baratos e regionais, como resíduos industriais, carvão, lenha, bagaço de cana, etc. Este item é de fundamental importância, pois pode tornar viável economicamente para muitas instalações.

A maior parte dos projetos de instalação de sistemas cogadores com turbinas a vapor poderão ser atendidos pelos produtos colocados no mercado interno pelos fabricantes nacionais.

3.2 – Cogeração com turbinas a gás

As turbinas a gás são equipamentos compostos basicamente por compressor, câmara de combustão e a turbina propriamente dita. O processo exotérmico

resultante da reação entre o ar e o combustível, na câmara de combustão, gera gases que ao se expandirem na turbina provocam um movimento axial que resulta em trabalho no eixo.

O eixo da turbina, além de acionar o compressor, pode estar ligado a vários equipamentos tais como alternadores, bombas, moendas, sopradores, etc. a fim de atender as mais variadas necessidades do processo.

Os gases de exaustão, que atingem temperaturas ao redor de 500 °C, podem ser aproveitados para secagem, geração de vapor (através de uma caldeira de recuperação), aquecimento de fluido térmico, condicionamento ambiental, etc.

Esse tipo de sistema é caracterizado por suas reduzidas dimensões e pelo fato de que não são totalmente fabricados no país o que implica que, para sua introdução, será necessária a importação de parte dos equipamentos.

3.3 – Cogeração com ciclo combinado

O ciclo combinado é o resultado da aplicação conjunta de dois conceitos de cogeração : com turbinas a vapor e com turbinas a gás.

O combustível usado inicialmente em uma turbina a gás, gera trabalho no eixo e calor, contido nos gases de exaustão, que é utilizado como fonte de energia em caldeiras de recuperação.

Na caldeira de recuperação, pode ser necessário a utilização de uma queima adicional de combustível para superaquecer o vapor a altas pressões e temperaturas. Este vapor irá por sua vez alimentar uma turbina que fornecerá trabalho no seu eixo e calor, contido no vapor de escape ou em extrações no corpo da turbina, para o processo ou comercialização. Este ciclo apresenta uma grande eficiência e flexibilidade de operação, podendo inclusive utilizar diversos combustíveis. A grande desvantagem é sua complexidade operacional e o seu alto custo inicial de instalação, pois, reúne em um só sistema duas tecnologias com suas respectivas características e necessidades.

3.4 – Cogeração com motores

Este conceito de cogeração baseia-se na utilização de motores alternativos de combustão interna gerando trabalho e calor, a partir do uso de um único insumo energético.

O calor residual, contido nos sistemas de escape, lubrificação e refrigeração, pode ser utilizado para o aquecimento de água, pré-aquecimento de ar, combustível ou até mesmo gerar pequenas quantidades de vapor a baixa pressão e temperatura. O trabalho obtido no eixo do motor poderá acionar um alternador,

que suprirá a unidade de eletricidade, ou qualquer outro equipamento necessário ao processo.

A quantidade de calor residual aproveitada dos sistemas anteriormente citados não é das mais expressivas, por isso o mercado para este tipo de equipamento será formado por empresas ou processos que utilizam pequenas quantidades de calor e grandes quantidades de energia elétrica ou força motriz.

As principais linhas de montagem de motores no país, tem como principal finalidade o atendimento do mercado veicular produzindo, portanto, equipamentos de pequena potência individual. Para o atendimento de grandes sistemas, será necessário a formação de bancos de motores ou a importação de unidades de grande potência individual.

3.5 – Cogeração com ciclo de absorção

O ciclo de absorção é um outro conceito que pode ser utilizado na cogeração. O calor residual proveniente de algum processo ou equipamento como uma turbina ou um motor, pode ser a fonte quente desse ciclo.

Para mostrar o princípio básico de funcionamento desse sistema será usado como exemplo uma solução de amônia. Esta solução (de alta concentração) é bombeada para o interior de um trocador de calor onde é evaporada com a energia proveniente de uma fonte quente (100 - 200 °C) dando início ao ciclo. O vapor de amônia aí resultante será condensado, passará por uma válvula de expansão e por um evaporador instalado dentro de uma câmara fria.

Após absorver o calor e refrigerar o meio, o vapor de amônia a baixa pressão junta-se novamente à solução, agora de baixa concentração, dentro do absorvedor e reinicia novamente o ciclo. O mercado desse sistema será constituído por setores que necessitam, além da energia elétrica, de condicionamento ambiental ou sistema de refrigeração.

Os absorvedores não são fabricados no país, portanto, para sua introdução em um sistema será necessário sua importação.

O rendimento global e o desempenho dos sistemas de cogeração são funções das características de operação, da fronteira e do meio escolhidos para análise e das particularidades individuais de cada um dos seus componentes.

4.0 - METODOLOGIA DE ANÁLISE

A análise do potencial de cogeração pode ser feita através das necessidades (ou mercado) de calor, refrigeração, força motriz, etc. No caso da venda de eletricidade esta análise estará atrelada, além do processo produtivo, às características da comercialização de energia elétrica.

Este trabalho apresentará a seguir os principais parâmetros a serem analisados para a determinação do potencial de cogeração atrelado a um processo.

4.1 – Equipamentos consumidores

O início da análise para se saber qual é o melhor tipo de sistema de cogeração a ser introduzido na unidade estudada, começa pela determinação das necessidades do processo ou setor a ser atendido e de suas características.

Dependendo da avaliação técnico-econômica do projeto e das perspectivas do mercado, será decidido qual a relação ideal W/Q (trabalho/calor) que mais interessa para a unidade. Esta relação determinará o tipo da instalação, seu modo de operação e o tempo de retorno do investimento.

Neste método, considera-se que os produtos fornecidos pelo sistema de cogeração devem atender às características das necessidades básicas (total ou parcialmente) da produção ou do serviço para que haja uma utilização mais racional da energia.

Do ponto de vista do custo global (investimento e operação) a parte mais significativa deste custo é função direta da eficiência com que são gerados o calor e o trabalho. Normalmente, o trabalho vale mais que o calor, mas isto depende do peso que se vai dar a cada parcela desse binômio que é função direta do porte da unidade, do grau de tecnologia empregado e de seu ramo de atividade.

No caso de uma unidade implantada que já tem suas necessidades de calor, frio, força motriz, etc. supridas pela central de utilidades, deve-se começar o processo com uma descrição detalhada dos dados dos equipamentos já instalados como : ano de fabricação, insumo utilizado, características de temperatura, regime operacional e outras grandezas inerentes ao processo.

No caso de uma unidade nova, este levantamento de dados deverá ser considerado baseado nos estudos realizados, mas tendo-se em mente que a possibilidade da introdução de um sistema de cogeração pode alterar alguns parâmetros até agora considerados.

Nesta metodologia, o atendimento das necessidades do processo é que determinará o porte, a quantidade de energia, a relação W/Q, o investimento e sua rentabilidade características.

Se a unidade não funciona com a mesma frequência e capacidade durante o ano, utilize planilhas e gráficos que representem esta sazonalidade e permitam a detecção de variações muito acentuadas e atípicas. O desenvolvimento de soluções específicas e de uma política de maior uniformização na produção e consequentemente um maior rendimento e eficiência operacional dos sistemas poderão ser alcançados.

Identifique um conjunto de opções a serem estudadas, incluindo as futuras expansões e comercializações, para o dimensionamento do sistema de cogeração, que será avaliado posteriormente por outros critérios.

Ao levantar os dados dos equipamentos aproveite e verifique se estes estão trabalhando dentro das especificações recomendadas pelos fabricantes, não esquecendo de levar em consideração as perdas nos sistemas de distribuição, e se medidas de racionalização energética já podem ser detectadas.

4.2 – Potencial do sistema

O potencial de cogeração da unidade estudada será determinado pelo tipo de sistema idealizado, pelas características construtivas do equipamento motriz, eficiência energética, queda entálpica, características e vazão do vapor ou calor, quantidade e tipo do insumo utilizado, características ambientais e outras peculiaridades da instalação.

No caso de um sistema de cogeração com turbinas a vapor, considera-se para efeito de cálculo, quando ocorre uma extração de vapor em seu corpo, como sendo duas máquinas distintas com suas respectivas características. A potência instalada será a soma das potências individuais de cada máquina acrescido de um fator que caracterizará uma reserva para o melhor funcionamento do equipamento.

No caso de uma turbina a gás, a sua eficiência térmica está principalmente ligada ao tipo construtivo, porte do equipamento, combustível utilizado, características operacionais, tipo de ciclo que ela opera, perdas de carga na entrada e saída do equipamento e das características ambientais do local da instalação.

Existem vários fabricantes de turbinas a gás espalhados pelo mundo que apresentam seus equipamentos avaliados segundo padrões aceitos internacionalmente. Cada utilização a ser dada ao equipamento deve ser precedida de uma detalhada consulta ao fabricante, pois deve-se levar em consideração todos os fatores acima citados, para que se tenha com certeza a potência útil fornecida no eixo após o atendimento das necessidades do compressor e dos acessórios do equipamento.

Os motores alternativos de combustão interna apresentam como principais características a eficiência na geração de eletricidade e pequena sensibilidade no

que se refere a alterações em sua carga. Um motor funcionando a 100% de sua capacidade nominal pode apresentar um rendimento de até 42 % enquanto que a meia carga este valor pode atingir 38 %.

O consumo específico desse tipo de equipamento varia em função do porte da instalação, de suas características operacionais e do tipo do insumo utilizado.

No caso de condicionamento ambiental com sistemas de absorção vários parâmetros técnicos devem ser levados em consideração, mas de maneira geral pode-se adotar, para um edifício comercial, que cada TR (tonelada de refrigeração) atende a aproximadamente 20 m² de área útil.

4.3 – Energia elétrica gerada

A energia elétrica gerada é função, principalmente, da potência instalada do sistema de cogeração, da variação de carga, quantidade de insumo queimado, tecnologia empregada, altitude, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e do número de horas de operação.

Dependendo das características de cada equipamento, poderá haver uma acentuada queda na eficiência global do sistema quando a variação da carga, insumo utilizado e tiragem de vapor e gás de exaustão forem incompatíveis com as características técnicas do equipamento.

Se houver comercialização de energia elétrica, esta deve atender aos parâmetros de qualidade e confiabilidade definidos pela legislação específica que regulamenta o setor.

4.4 – Análise do investimento

A análise do investimento e seu tempo de retorno em sistemas de cogeração, serão obtidos a partir do projeto básico analisado. Nesta parte do trabalho deverão ser indicados os principais aspectos a serem considerados sobre equipamentos, obras civis, acessórios, combustível, montagem, manutenção, ligações elétricas e mão de obra.

O gasto relativo a aquisição dos equipamentos que compõem o sistema é função direta das características técnicas e do tipo de tecnologia utilizada e deve levar em consideração, além do seu próprio custo, os impostos e demais despesas inerentes a cada um deles como transporte, seguro, armazenagem, custos alfandegários, etc.

A introdução ou adequação de equipamentos deve levar em consideração as particularidades de cada sistema para uma alocação compatível de custos como por exemplo a utilização de um sistema com turbinas a vapor, onde é primordial que se analise o investimento

realizado na caldeira. Neste caso, o equipamento poderá ser adquirido, trocado ou reformado em função do atendimento das atuais necessidades em comparação com as anteriores à instalação do sistema. A adequação ou a realização de obras civis necessárias a instalação de cada componente do sistema deve ser avaliada de forma a representar, junto com a instalação de acessórios específicos ao funcionamento da unidade, os custos que estes itens representam na execução e operacionalização do projeto.

Os diferentes tipos de combustíveis existentes que podem ser utilizados em sistemas de cogeração e suas respectivas características, significam diferentes rendimentos, custos e eficiências energéticas que afetam de forma direta o desempenho e a durabilidade do sistema.

A utilização de combustíveis não tradicionais (óleos ultraviscosos, gases pobres, etc.) para equipamentos como turbinas a gás e motores, só deve ser feita após criteriosa análise do fabricante do equipamento para que adaptações técnicas sejam providenciadas antes de sua instalação. No caso de caldeiras já são oferecidos equipamentos adequados para uma grande variedade de insumos energéticos (inclusive vários tipos de biomassa).

A montagem do sistema é item de importância fundamental, pois deve ser precedida de uma adequada análise de localização da central de utilidades e das principais cargas consumidoras levando-se em consideração as perdas nos sistemas de abastecimento e distribuição. Estima-se que para uma análise inicial de investimentos, pode-se considerar os gastos com a montagem na ordem de 10% do custo dos respectivos equipamentos que compõem um sistema de cogeração.

Os equipamentos do sistema de cogeração exigem uma manutenção simples, porém cuidadosa. Para uma pré-análise recomenda-se adotar o valor de 2% ao ano sobre o investimento do respectivo equipamento.

Um detalhado estudo da configuração e localização do sistema, pode significar na hora da manutenção, substituição de equipamentos e mesmo de operação, significativos ganhos tanto no que se refere ao tempo, como a custos.

A manutenção das linhas de distribuição/transmissão, referentes exclusivamente ao sistema de cogeração, determinadas na análise elétrica do projeto devem ser consideradas como parte integrante do estudo.

A interligação do sistema de cogeração e a instalação dos respectivos equipamentos de controle, manobra e proteção devem seguir as recomendações das concessionárias com a qual a unidade estabelece o contrato de conexão e ter incluídos seus custos na análise do projeto.

A operacionalização desse sistema e o controle da interconexão com o sistema elétrico deve ser feito por mão de obra especificamente treinada ou contratada para que sérios problemas, que podem ocasionar perdas técnicas e financeiras, sejam evitados.

Os investimentos referentes a sistemas de cogeração devem caracterizar exclusivamente a parcela correspondente a introdução da unidade de geração devendo representando sua sazonalidade e suas características particulares.

4.5 – Receita proveniente da cogeração

A receita proveniente da introdução do sistema de cogeração, que amortizará o investimento em obras e equipamentos mais os custos de operação e manutenção, será determinada pela quantidade de energia elétrica que se deixará de adquirir da concessionária, da economia gerada pelo aproveitamento do calor residual no processo ou pela energia comercializada.

Deve-se considerar que o calor residual proveniente do sistema de cogeração e aproveitado para o processo produtivo desloca ou elimina, em muitos casos, o consumo direto ou indireto de algum insumo energético

A compatibilização dos contratos com a concessionária deve ter como base uma análise detalhada das curvas de demanda e de produção de energia elétrica, inclusive a necessidade de fornecimento de energias emergências para os casos de paradas imprevistas ou de manutenção.

No caso de haver suprimento de eletricidade da unidade com sistema de cogeração ao sistema elétrico, considere mais esta fonte de receita em sua análise.

Para se obter o melhor retorno financeiro num processo de recuperação de calor é essencial atingir a melhor relação entre a quantidade ou percentagem de calor recuperado e o capital investido, acrescido do custo operacional do equipamento.

5.0 - FORMAS DE COMERCIALIZAÇÃO

A introdução de sistemas de cogeração pode ser feita na modalidade de autoprodução ou de produção independente de energia elétrica. O autoprodutor é caracterizado pela produção para uso exclusivo e a possibilidade de se comercializar o excedente de eletricidade enquanto o produtor independente de energia pode comercializar toda ou parte da energia produzida.

A comercialização dessa eletricidade pode ser feita para :

- Concessionárias de energia elétrica;

- Consumidores livres;
- Consumidor com o qual se forneça vapor ou outra forma de energia oriundo de processo de cogeração;
- Conjunto de consumidores (em acordo com a concessionária);
- Consumidores não atendidos em 180 dias após a solicitação.

Os sistemas de transmissão e distribuição podem ser utilizados nesta comercialização desde que os custos desta conexão sejam reembolsados aos proprietários dos sistemas.

Os sistemas de cogeração se caracterizam por poderem ser interligados ao sistema elétrico, mantendo assim relacionamento com a alguma concessionária de energia elétrica, ou por operarem isolados do sistema o que pode caracterizar dificuldades na estabilidade elétrica da unidade e a falta de apoio em eventuais emergências de seu sistema de geração.

Normalmente os sistemas de cogeração estão relacionados a algum processo produtivo o que pode, em alguns casos, dificultar sua integração ao sistema elétrico e conseqüente despacho de carga.

Todo sistema de geração de eletricidade, inclusive de cogeração, deve obter para o seu funcionamento licença do órgão regulador e fiscalizador do setor elétrico nacional (ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica). Esta licença, a nível federal, não exige a unidade da obtenção de licenças estaduais principalmente as ambientais.

6.0 - RESULTADOS

Este trabalho é baseado em parte do Programa de Apoio e Incentivo a Cogeração que tem as seguintes ações e resultados :

- Contratos de suprimento de Longo Prazo – 9 MW
 - Contratos encaminhados – 15 MW
- Contratos de Curto Prazo – 11 MW
- Contratos de Back up para PIE – 1 MW
- Regularização – 33 unidades – 341,5 MW
- Instalação de PIE – 24 MW
 - Encaminhada – 621 MW
- Manual de Administração de Energia – 5.000 unidades
- Sistema Eletrônico de Informações –
 - Disquetes – 2.000 unidades
 - CD-ROM – Convênio com a ANEEL

7.0 - CONCLUSÃO

Verifica-se, de um modo geral, que a conversão de calor em trabalho ainda se faz de uma maneira

bastante ineficiente. Realizar essa conversão de uma forma mais racional e econômica é o grande desafio da ciência e da engenharia nos atuais processos produtivos brasileiros, portanto, deve-se analisar o retorno do investimento de todas as opções estudadas e escolher a opção que lhe traga os maiores benefícios.

8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) – AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. Manual de Administração de Energia – Vol. 3
- (2) ANEEL. Resolução Nº 264, de 13 de agosto de 1998
- (3) Lei Nº 9648, de 27 de maio de 1998
- (4) Decreto Nº 2003, de 10 de setembro de 1996
- (5) Lei Nº 9074, de 7 de julho de 1995