



IMPLANTAÇÃO DA TURBINA DE TOPO DO ALTO-FORNO 3 USIMINAS UNIDADE DE IPATINGA¹

Murilo Alves Tito de Souza²
Ericson Rimen Ribeiro Rosa³
Claudiney Freitas de Oliveira⁴

Resumo

A utilização de turbina para recuperação da energia do gás de topo de Alto-Forno veio ao encontro dos objetivos estratégicos da Usiminas unidade de Ipatinga de aumentar sua geração própria de energia, diminuir impactos ambientais e melhorar o controle operacional de pressão do topo. Será apresentado a evolução dos métodos utilizados para controle de pressão de topo, os procedimentos operacionais, desempenho obtido e esperado desde o início da operação do Alto-Forno 3. Este trabalho tem objetivo de apresentar a evolução no controle de pressão do topo e geração de energia elétrica com utilização da turbina aproveitando a energia cinética do gás gerado no Alto-Forno 3.

Palavras-chave: Turbina; Pressão; Energia.

IMPLEMENTATION OF TOP TURBINE OF BLAST FURNACE 3 USIMINAS IPATINGA

Abstract

The use of turbine for energy recovery from top gas from blast furnace is aligned with the strategic objectives of Usiminas Ipatinga to increase their own power generation, reduce environmental impacts and improve operational control of pressure from the top. This study aimed to present the progress in controlling the top pressure and electric power generation using turbine drawing gas kinetic energy. Will be addressed by developing methods used to control the pressure of the top from the start of operation of Blast Furnace 3 to the present day. Will also be discussed operating procedures and expected performance.

Keywords: Turbine; Pressure; Energy.

¹ Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR

² Operador de Produção da Sala de Controle dos Altos-Fornos, Superintendência de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG.

³ Operador de Produção da Sala de Controle dos Altos-Fornos, Superintendência de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁴ Assistente Industrial dos Altos-Fornos, Superintendência de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG.



1 INTRODUÇÃO

A recuperação de energia é um dos objetivos estratégicos da Usiminas, visando reduzir a necessidade de energia adquirida. O potencial energético resultante de processos industriais pode ser aproveitado através de tecnologias específicas.

Este trabalho é voltado para a área da siderurgia, tendo como foco a recuperação de energia gerada pela velocidade cinética do gás, no processo de redução em um Alto-Forno.

Na Usiminas unidade de Ipatinga, o processo de aproveitamento de energia potencial existente no *BFG (Blast Furnace Gas)* gerado no Alto-Forno 3, consistiu na instalação de uma unidade composta de turbina e gerador de energia elétrica denominado de Turbina de Topo.

Devido ao alto custo de investimento para implantação deste equipamento, além do subsídio do custo de energia, a empresa não visualizava a necessidade de implantação de um equipamento para recuperação energética. Entretanto, a crise de energia elétrica no Brasil em 2001 e o fato do governo federal ter liberado incentivos fiscais para as empresas que adquirissem até o final de 2002 equipamentos capazes de gerar energia elétrica, levaram a Usiminas a optar pela compra e instalação da Turbina de Topo na unidade de Ipatinga tendo como objetivo um melhor controle da pressão de topo e geração de energia elétrica.

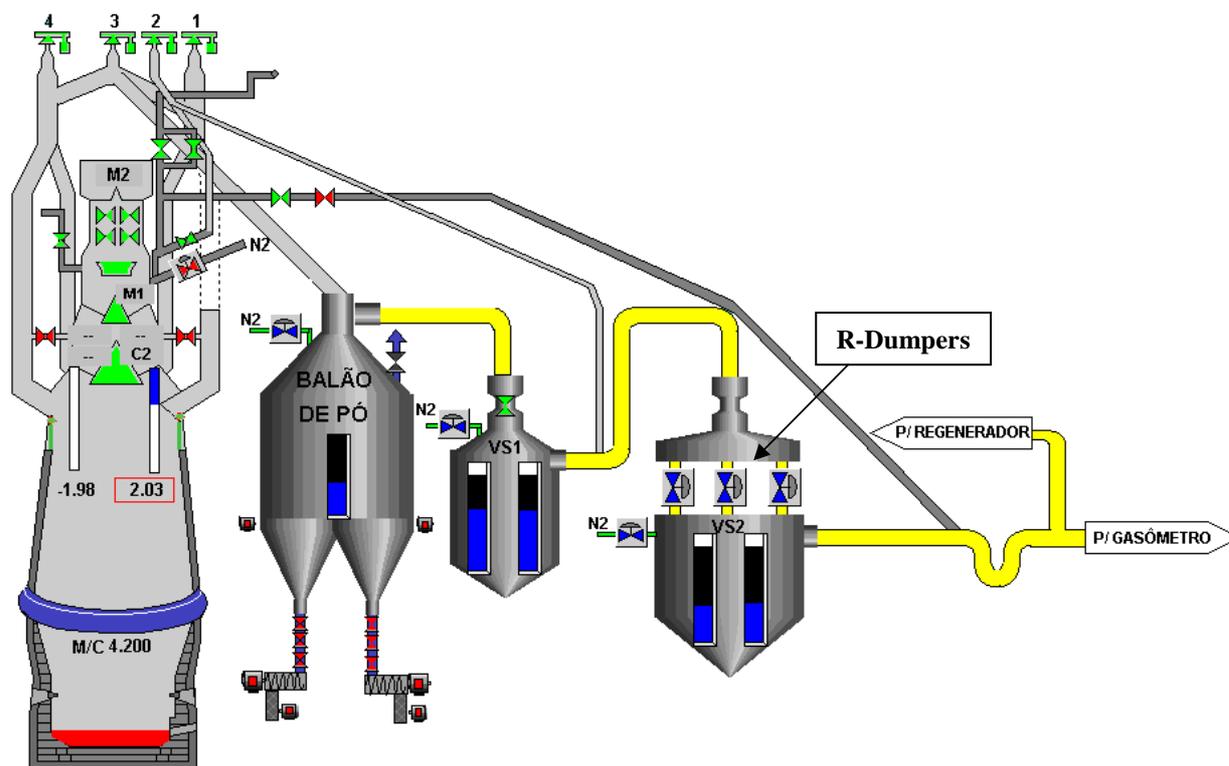
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição do Processo de Alto-Forno

Os Altos-Fornos são reatores utilizados para a produção de ferro gusa. As principais matérias-primas carregadas são o sinter, minério granulado, pelota e o principal combustível utilizado é o coque metalúrgico. Todos os materiais são carregados pelo topo do Alto-Forno, na região inferior é injetado o ar quente que, em contato com a carga no interior do forno, promove a gaseificação do coque, gerando o gás redutor CO e grande quantidade de calor. O *BFG* sobe em direção ao topo, em sentido contrário a descida da carga, proporcionando o aquecimento, a redução e a fusão da carga metálica. Como produtos são originados o gusa e a escória líquidos, que são armazenados no cadinho, sendo então, drenados pelo furo de gusa.

Na Usiminas unidade de Ipatinga existem três Altos-Fornos: Altos-Fornos nº 1 e 2 com produtividade em torno de 2,48 t/d.m³ e o Alto-Forno 3 com produtividade em torno de 2,62 t/d.m³.

Para o Alto-Forno 3 atingir este nível de produção, um dos fatores necessários é o eficiente controle de contra pressão no topo. Inicialmente esse controle era feito pela *Septum Valve*, mas após a terceira reforma do Alto-Forno 3,⁽¹⁾ este controle passou ser feito pelos *R-Dumpers*, conforme ilustrado na Figura 1. A eficiência deste controle permite injetar ar na base do forno com alta pressão e vazão, sem que ocorram distúrbios operacionais que impliquem na diminuição da produção.



VS-1: Venturi Scrubber 1
VS-2: Venturi Scrubber 2.

Figura 1. Fluxograma do processo sem a Turbina de Topo.

2.2 Septum Valve

O controle de contra pressão do topo inicialmente era feita pelo sistema denominado *Septum Valve*, localizada entre os *Venturis Scrubber*, este sistema era constituído de três válvulas borboletas de 850 mm de diâmetro cada, sendo assim especificadas, 1ª válvula em Automático, 2ª em *Range* e 3ª em Manual. Essas válvulas eram de acionamento por meio de sistema hidráulico e funcionavam independentes. A válvula automática tinha a função de manter a pressão do topo numa faixa determinada, enquanto a válvula *range* funcionavam em combinação com a anterior e destinava-se a ajustar a pressão de modo a mantê-la sempre numa faixa coberta pela válvula automática. A válvula manual era aberta automaticamente somente no caso de uma variação da pressão do topo.

2.3 R-Dumpers

Os *R-Dumpers* são um conjunto de 3 válvulas de controle desenvolvido para controlar a pressão de topo do Alto-Forno implantado na Usiminas unidade de Ipatinga em substituição ao sistema de controle *Septum Valve* durante a terceira reforma do Alto-Forno 3. Este sistema contempla os seguintes status para as válvulas de controle.

Automática – nesta condição a válvula estará modulando de acordo com a saída de controle *PID* (Proporcional Integral e Derivativo), através de *set point* (*SP*) ajustado pela equipe de operação de acordo com a necessidade operacional.



A válvula automática fica oscilando a porcentagem de abertura de acordo com a *point value (PV)* para manter o controle de contra pressão solicitada ao *SP*.

Quando houver um distúrbio inesperado que solicite a abertura ou fechamento da válvula em 30% na faixa inferior e 70% na faixa superior, a lógica implantada no *CLP* (Controlador Lógico Programado), solicitará auxílio das válvulas que estão em modos de *range* e manual, que serão descritas abaixo:

Válvula *Range* – A Válvula Automática com abertura maior que 80% durante 5 segundos, a válvula *range* abrirá até 80% sendo 1% a cada segundo.

A Válvula Automática com abertura menor que 20% durante 5 segundos, a válvula *range* fechará até 20% sendo 1% a cada segundo.

Diferença de *SP/PV* maior que 100g, a válvula *range* abre 1% a cada segundo de acordo com necessidade, voltando para a posição anterior, após normalizar o distúrbio.

Diferença de *SP/PV* maior que 150g a válvula *range* abre até atingir 100%, sendo que para este caso as demais válvulas (automática e manual) também irão abrir até 100% voltando para a posição anterior, após normalizar o distúrbio.

Quando a válvula *range* for igual ou maior que 80% de abertura, a válvula da garganta do *Venturi 1* irá abrir 100%, permanecendo assim, aguardando atuação do operador que deverá comandá-la para sua posição de trabalho normal, após normalização do distúrbio.

Válvula Manual – Nesta condição a válvula obedecerá ao comando do operador, assumindo uma abertura determinada por ele, sendo que para maior eficiência do sistema e evitar abertura da válvula que estiver em *range* o operador deverá atuar nesta válvula objetivando uma zona de modulação da válvula em automático entre 30% a 70% de abertura ou quando a válvula automática e *range* estiverem com sua abertura ou fechamento abaixo ou acima da faixa de controle, a válvula manual estará em modo de auxílio, abrindo ou fechando.

2.4 Turbina de Topo

A Turbina de Topo do Alto-Forno 3 é um equipamento projetado para controlar a pressão do topo e gerar energia elétrica através do *BFG* do Alto-Forno, aproveitando-se de características termodinâmicas como: temperatura, pressão e vazão.

Este empreendimento teve duração de 24 meses desde assinatura do contrato, projetos, obras civil, montagem, testes e *start up* em junho/2003.

2.5 Características da Turbina de Topo

Turbina de alta velocidade e fluxo simples (60hz/ 3.600 rpm).

Construção simples para fácil manutenção.

Controle da pressão do topo feito através das palhetas do tipo fechamento total.

Excelente controle de pressão do topo.

Governor eletrônico.

Alta eficiência de geração de energia elétrica.

Baixo ruído.

Processo de Geração – O gás gerado no Alto-Forno 3 chega até o topo através da tubulação de alta pressão, expande-se dentro da turbina acionando o gerador acoplado na turbina.



Para que a turbina possa desenvolver sua principal função que é controlar a pressão do topo, a partir deste gerar energia elétrica é necessário que o sistema passe por diferentes fases de comutação de controle,⁽²⁾ conforme ilustração na Figura 2.

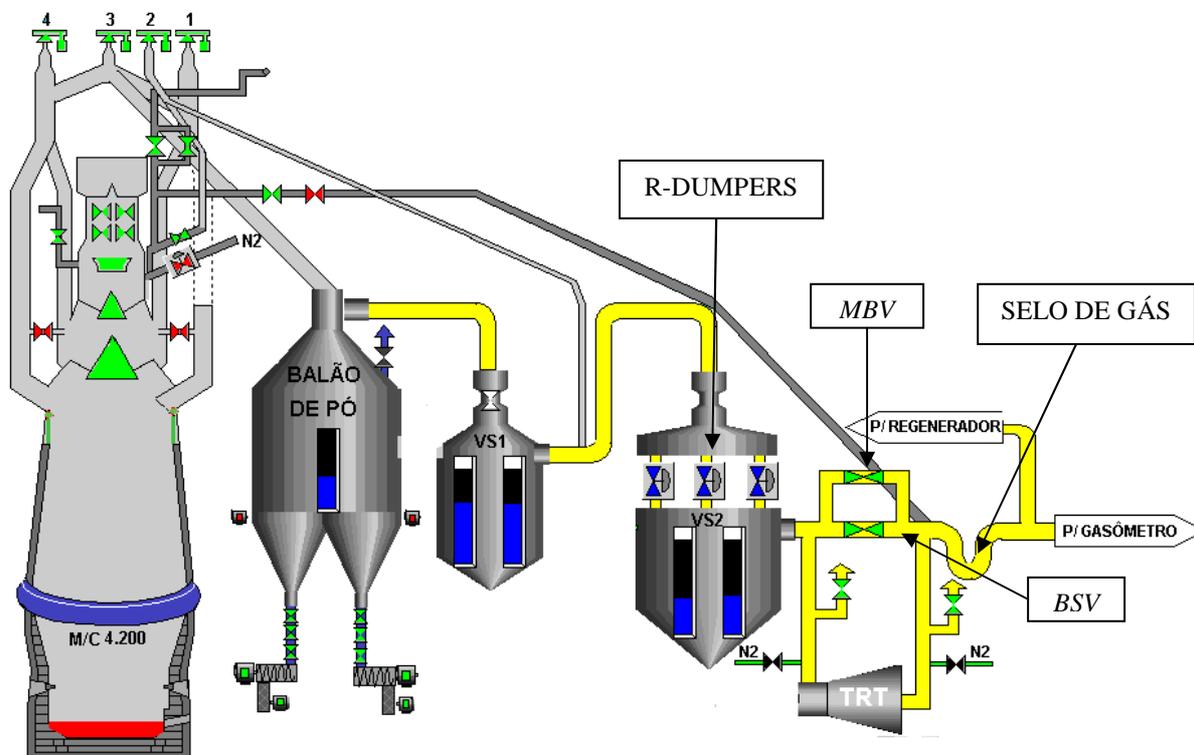


Figura 2. Fluxograma do processo com a Turbina de Topo.

Inicialmente com os *R-Dumpers* controlando a pressão do topo, as válvulas *Main By-pass Valve (MBV)* e *By-pass Stop Valve (BSV)* estarão totalmente abertas, a válvula ocular estará fechada e o selo de gás com água. É feito o expurgo de todo o circuito de gás da turbina. Terminada esta fase, retira-se a água do selo de gás e abre-se a válvula ocular. O sistema estará preparado para a primeira comutação de controle.⁽²⁾

2.6 Comutação de controle dos *R-Dumper* para a *MBV*

Nesta fase é fechada a *BSV*. A *MBV* começa a fechar modulando a pressão na entrada da turbina, à medida que esta vai fechando para elevar a pressão, os *R-Dumpers* estarão abrindo para manter a pressão do topo no valor desejado. Quando a pressão na entrada da turbina atingir o valor desejado ou os *R-Dumpers* atingirem um valor de abertura pré-determinado, ocorrerá a transferência do controle da pressão do topo para a *MBV*, e os *R-Dumpers* serão fixados em modo manual com abertura de 92%, diminuindo a perda de carga sobre os mesmos.⁽²⁾

2.7 Comutação de controle da *MBV* para a Turbina de Topo

Nesta etapa a *MBV* estará controlando a pressão do topo com o gás na entrada da válvula de emergência. Abrindo-se essa válvula de emergência o gás estará na entrada da turbina.⁽²⁾



Inicia-se uma troca de informações entre o sistema de controle distribuído e o *governor*, que é o responsável pelo controle da Turbina de Topo.⁽²⁾

O sistema de controle distribuído solicita ao *governor* que abra as paletas da Turbina de Topo para que a mesma gire a uma velocidade de 100 rpm, sendo feito um pré-teste das condições de funcionamento. A partir daí, o *governor* inicia o seu primeiro estágio de controle que segue descrito abaixo.⁽²⁾

O *governor* estará a cada segundo incrementando uma abertura de 0,67% nas paletas da turbina até atingir a velocidade de 800 rpm, momento em que o mesmo passa para o seu estágio de controle da velocidade.⁽²⁾

2.8 Controle da Rotação e Elevação de Carga

A velocidade é incrementada em 6 rpm a cada segundo até o rotor atingir 3420 rpm. Neste instante é feito o paralelismo, após esta etapa o sincronizador solicita ao *governor* que eleve até atingir 3600 rpm faixa normal de trabalho. Neste momento a turbina é acoplada ao barramento da fornecedora de energia elétrica, gerando o seu valor mínimo que é 1,9 Mw. Com estes parâmetros *governor* passa para o estágio de controle da elevação de carga.

A cada segundo, é incrementando 100 kw no valor desejado do seu bloco de controle até atingir o valor máximo de 12,0 Mw e o *set point* mantém solicitando 18,8Mw que é a capacidade nominal da Turbina de Topo.

Desde o primeiro estágio de controle do *governor*, parte do gás do topo estava fluindo pela turbina e o controle de pressão do topo era realizado pela *MBV*, que fechava para compensar este novo fluxo de gás. Quando a mesma estiver totalmente fechada, o controle da pressão do topo é transferido para a turbina que terá o valor para controle de pressão 0,03 kgf/cm² menor que o *set point* da *MBV*. Neste instante o *governor* passa para o estágio de controle da pressão do topo.⁽²⁾

2.9 Transferência do Controle da Pressão da MBV para Turbina de Topo

Nesta fase de controle a principal função da turbina é controlar a pressão do topo onde o *governor* estará modulando as paletas para corrigir variações no controle de pressão do topo, o que provoca oscilações na geração de energia elétrica. Conforme ilustração na Figura 3 *layout* de operação da Turbina de Topo.

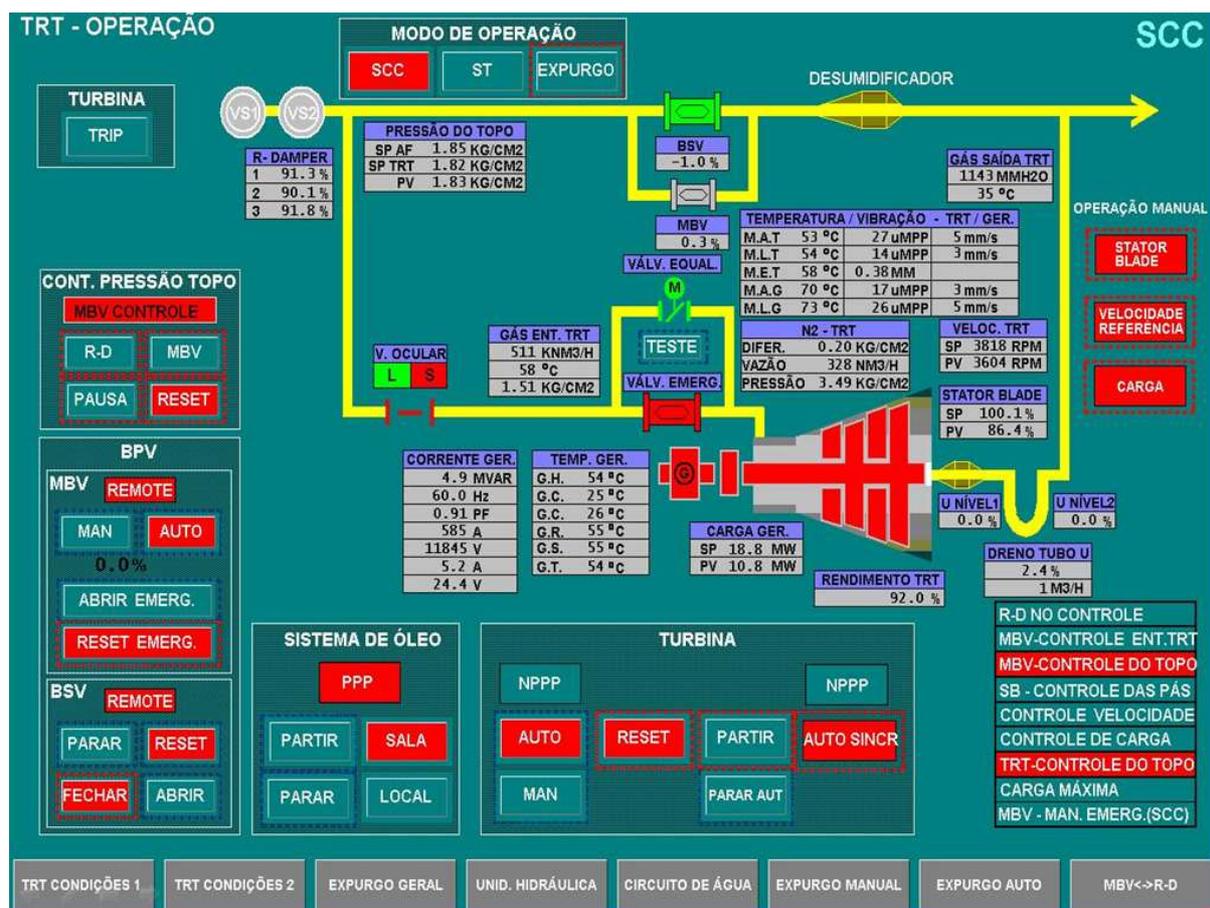


Figura 3. Layout da Turbina de Topo.

3 RESULTADOS

Com a implantação da Turbina de Topo do Alto-Forno 3 da Usiminas unidade de Ipatinga todos os objetivos com investimento foram alcançados, o retorno do investimento em prazo menor que o esperado, melhorou o controle da pressão do topo, que antes com os *R-Dumpers* tinha uma margem de variação da pressão do topo entre 150g na faixa superior ou inferior, já com a Turbina de Topo esta variação diminuiu para 70g, possibilitando melhor estabilidade operacional, geração de energia elétrica em torno 10,0 Mw em condições normais de marcha do Alto-Forno.

A previsão de retorno do investimento inicialmente previsto para 5 anos, foi obtido em 2,5 anos, devido a ótima performance de funcionamento do equipamento

É importante ressaltar a importância da Turbina de Topo, visando a geração de energia elétrica, tendo em vista que sua geração corresponde a 10% da geração interna total, conforme ilustração na Figura 4, 5 e 6.

Pode-se observar nas figuras, que em 2009 devido a crise mundial, houve uma redução na geração de energia elétrica ocasionada pela baixa produção do Alto-Forno 3 da Usiminas unidade de Ipatinga e uma parada programada para revisão geral da turbina.



Geração Total de energia elétrica X Geração da TRT (Mw)

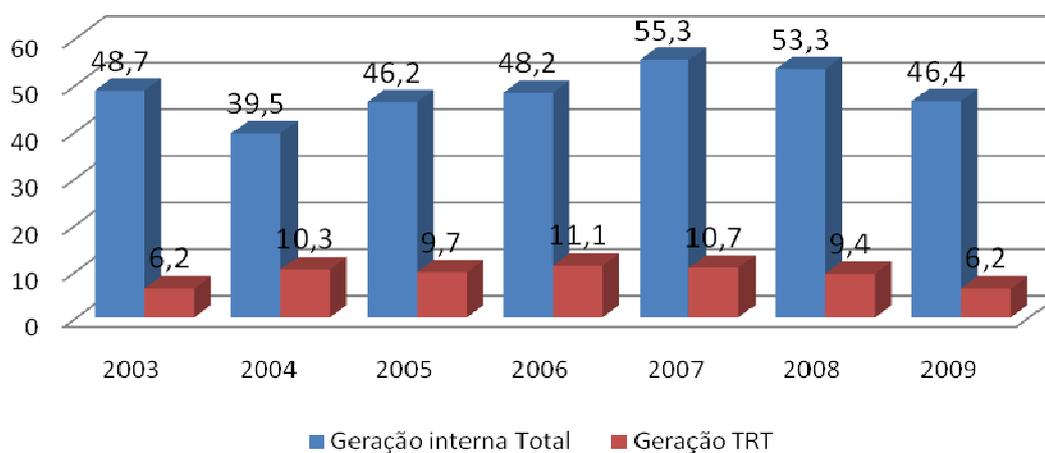


Figura 4. Geração total de energia elétrica da usina X geração da TRT.

Geração interna total (Mw) X Geração da TRT (%)

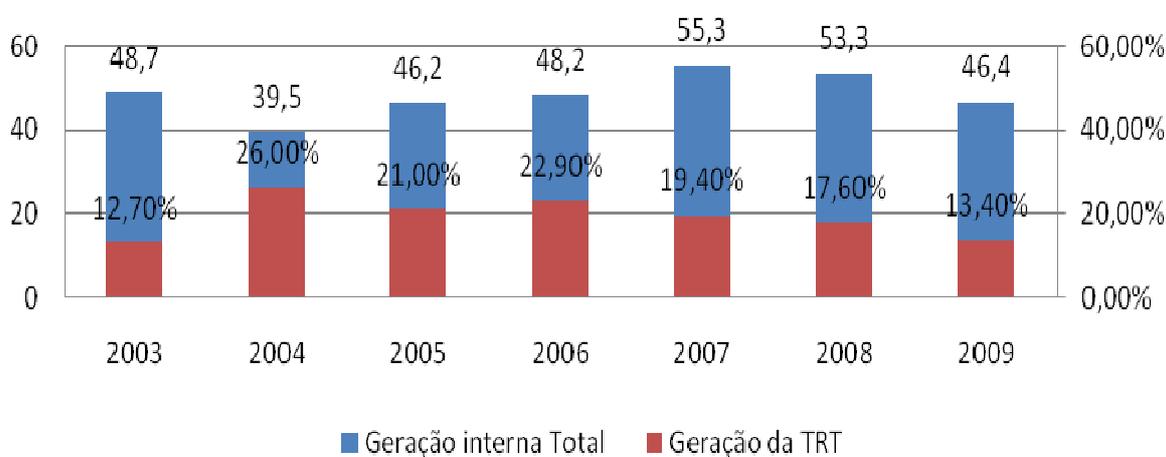


Figura 5. Geração interna de energia elétrica total da usina X geração da TRT.



Consumo de energia elétrica da usina X Geração de energia total e energia comprada (Mw).

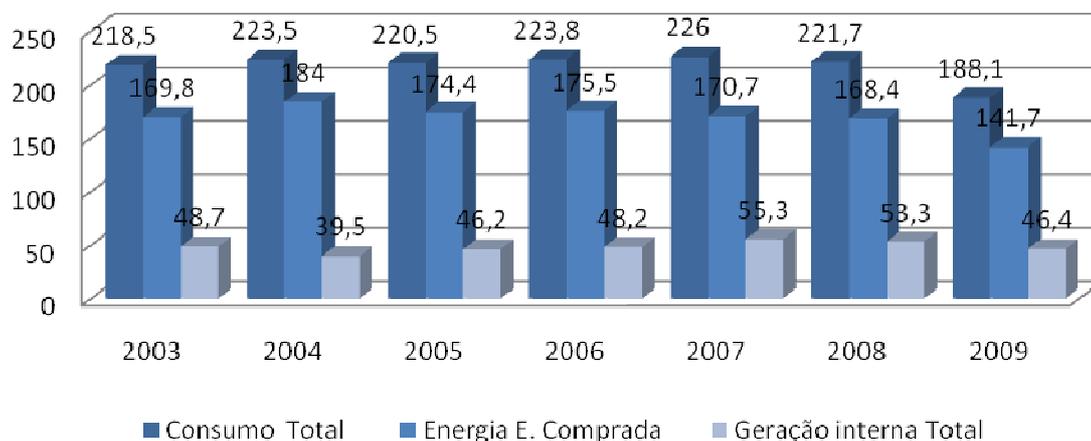


Figura 6. Consumo de energia elétrica da usina X geração de energia total e energia comprada.

4 CONCLUSÃO

Após o *start-up* da turbina de recuperação de energia do gás de topo, foi confirmado todas as expectativas iniciais quando a sua aquisição.

Como podemos ver ao longo do trabalho, a turbina de recuperação topo proporcionou um controle de pressão do topo mais estável, melhor estabilidade operacional da marcha do Alto-Forno, maior disponibilidade do sistema de operação e diminuição dos impactos ambientais devido sua geração de energia elétrica. Tudo isso aliado ao custo benéfico, operação e manutenção da turbina.

Agradecimentos

Agradeço aos colaboradores da superintendência de Redução da Usiminas - Unidade de Ipatinga, colaboradores da superintendência de Automação da Usiminas - Unidade de Ipatinga, e a todos que de alguma forma dedicaram e contribuíram para o sucesso desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 FERNANDES, Mauro Vivaldino; DUARTE, Walmir Alves; CARVALHO, José de Sousa. Terceira Campanha do Alto-Forno 3 da Usiminas In: Seminário de redução de minério de ferro-ABM, 31º, Santos: ABM, 2000. P2.
- 2 MIRANDA, Wilson Peris; HOBI, Josef Miroslav; MARZANO, Luiz Fernando. Sistema De Controle Da Turbina De Topo Do Alto-Forno N°3 Da Usiminas. Contribuição técnica ao IX Seminário de Automação de Processo da ABM; Curitiba, PR, 05 a 07 de outubro 2005. P5-6.