



# RECUPERAÇÃO DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E VAPOR DE PROCESSO NA UG50HZ<sup>1</sup>

André Luis de Oliveira<sup>2</sup>  
Lucimar Martins Viana<sup>3</sup>  
Marcos Vinícios Salazar<sup>4</sup>

## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido na unidade geradora de 50Hz (UG50Hz) da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Tendo a unidade perdido capacidade de geração de energia elétrica e extração de vapor de processo, devido aos graves defeitos nos turbo geradores, objetivou-se fazer a recomposição e substituição de componentes agregando à unidade geradora tecnologias atualizadas e em conformidade com o papel básico que é garantir energia elétrica, vapor e ar soprado de emergência a Usina. A gestão de processos orientada pelo ciclo do PDCA foi a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. Foram implementadas ações de melhoria e recuperação nos turbo geradores 3 e 4 da UG50Hz. Os resultados alcançados foram a recuperação de capacidade de geração de energia elétrica na ordem de 14 MWh e vapor de processo pela extração na turbina 3 de 50 t/h. Além da recuperação de capacidade com a implementação deste trabalho a UG50Hz aumenta sua robustez para atender às emergências e sua eficiência por ser possível reduzir o vapor utilizado nos turbo sopradores como reserva para possíveis emergências.

**Palavras-chave:** Recuperação; Turbina; Gerador; Termoelétrica.

## RECOVERY OF GENERATION CAPACITY OF ELECTRICITY AND STEAM PROCESS OF UG50HZ

### Abstract

This work was conducted at 50Hz generating unit (UG50Hz) in Nacional Steel Company (CSN). Having lost the drive capacity to generate electricity and process steam extraction, due to serious defects in turbo generators, aimed to make the restoration and replacement of components adding to the generating unit and updated technologies in accordance with the basic role that is ensure electric power, steam and air blown emergency plant. The management processes driven by the PDCA cycle was the methodology used for development work. Actions have been implemented for improvement and recovery in turbo generators 3 and 4 of UG50Hz. The results were the recovery of generation capacity of electricity in the order of 14 MWh and process steam turbine 3 with extraction of 50 t/h. In addition to recovering capacity with the implementation of this work, UG50Hz increases its robustness to meet emergencies and efficiency by reducing of steam used in turbo blowers as a reserve for potential emergencies.

**Key words:** Recovery; Turbine; Generator; Thermoelctric.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 22 a 24 de agosto de 2012, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Manutenção Sr. da Gerência de Geração de Energéticos da CSN*

<sup>3</sup> *Engenheiro Especialista da Gerência de Geração de Energéticos da CSN*

<sup>4</sup> *Líder de Operação da Gerência de Geração de Energéticos da CSN*



## 1 INTRODUÇÃO

A CSN possui duas termelétricas, a primeira denominada Unidade Geradora de 50Hz (UG50Hz) iniciou sua operação em 1944 e a segunda denominada Central Termoelétrica 2 (CTE 2) teve início de operação no ano de 2000. O presente trabalho foi desenvolvido na UG50Hz, que tem um papel importante para a Usina, pois esta termelétrica tem o papel de primordial suprir energia elétrica, vapor e ar soprado de emergência. O processo siderúrgico, mais especificamente o processo de metalurgia de redução e metalurgia do aço possui equipamentos que em caso de falta de energia apresenta grandes prejuízos por perda de produção e dos próprios equipamentos, principalmente por falta de refrigeração. A captação de água e boa parte do tratamento desta água são supridos pela UG50Hz.

Historicamente a UG50Hz cumpre bem seu papel de garantidora da energia de emergência para a USINA, porém alguns de seus equipamentos mais importantes necessitavam de reparo geral e atualização tecnológica.

Em toda a vida útil dos turbo geradores,<sup>(1)</sup> os reparos foram realizados por empresas que foram capazes de lhes devolver à capacidade nominal de produção. No momento de início deste trabalho o Turbo Gerador 3 e 4 estavam em final de campanha e por isto o que será visto nos próximos capítulos tratam do reparo geral para recuperação de capacidade e atualização tecnológica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Fazer a Recuperação de Capacidade de Geração de Energia Elétrica e Extração de Vapor de Processo da UG50HZ

A UG50Hz possui 4 geradores, sendo 2 geradores de 5MWh e 2 geradores de 10MWh, totalizando 30MWh nominal. O Turbo gerador 3 (de 10MWh) antes do presente trabalho tinha sua capacidade restrita à 4 MWh e a extração de vapor para processo estava inativa. Um mês antes da data prevista para início do reparo ocorreu um incidente com este equipamento, que o fez ficar paralisado até a mobilização para início do reparo. O Turbo Gerador 4 (10MWh) estava limitado a 5MWh devido principalmente aos problemas no trocador de calor (air cooler) do gerador.

A recuperação destes equipamentos consiste em restituir a capacidade nominal.<sup>(2)</sup>

**Tabela 1.** Dados operacionais dos turbo geradores

Equipamento	Capacidade Nominal	Limitação de capacidade
TGE-1	5 MWh	4 MWh
TGE-2	5 MWh	Desativado
TGE-3	10 MWh	4 MWh
TGE-4	10 MWh	5 MWh

### 2.2 Aumentar a Confiabilidade dos Turbo Geradores

Os turbo geradores da UG50Hz alimentam em 50Hz a captação de águas, uma parte da estação de clarificação, bombas de água de emergência para



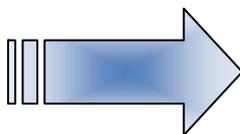
resfriamento dos altos fornos, aciaria, laminador de tiras a quente, entre outros equipamentos essenciais para a usina. É importantíssimo ter elevada confiabilidade por isto é muito importante recuperar e manter a confiabilidade dos turbo geradores.

## 2.3 Melhorar a Eficiência da UG50HZ

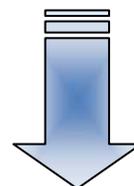
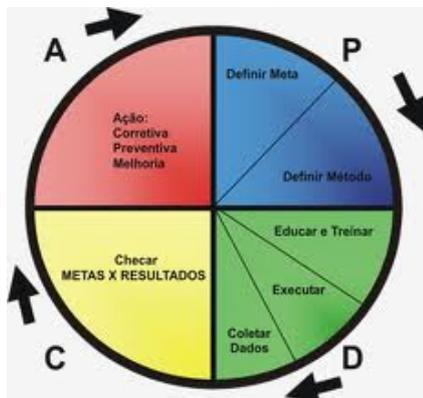
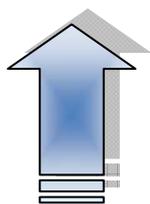
Sendo a UG50Hz uma termelétrica com mais de 70 anos, podemos concluir que sua eficiência não se compara aos equipamentos modernos. Mesmo sendo o combustível principal desta termelétrica os gases siderúrgicos é importante recuperar e aumentar a eficiência das turbinas. A própria limitação de capacidade dos turbo geradores já contribuem para a redução de eficiência. Desta forma o trabalho tem também por finalidade reduzir vazamentos, limpar a turbina, trocar trocadores de calor entre outras ações que serão desenvolvidas.

## 3 METODOLOGIA

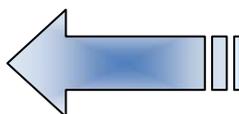
1. Plano de manutenção;
2. Padronização.



1. Identificação falhas e defeitos existentes;
2. Objetivos e metas;
3. Metodologia;
4. Escopo;
5. Definição de Mão de obra e Equipamentos;
6. Definição de novas funcionalidades e adaptações;
7. Análise para gestão de mudanças.



1. Avaliar resultados,
2. Definir ações para correções e melhorias.



1. Integração de equipes;
2. Preparação;
3. Desmontagem;
4. Implantação de novas funcionalidades;
5. Montagem;
6. Testes e Medições.

Figura 1. Metodologia.

## 4 PROCESSO UG50HZ

Na Figura 2, temos a representação dos processos da UG50Hz. São três caldeiras com capacidade de geração de 300 t de vapor de 30 bar e 385°C; quadro turbo geradores que geram em 50Hz e 6,9kV, sendo dois de 5 MWh e dois de 10 MWh e ainda temos três turbo sopradores, com capacidade individuais de 1200



$\text{Nm}^3/\text{min}$  e 1,5 bar para atender sopro de emergência para os Altos Fornos 2 e 3. O presente trabalho trata exclusivamente dos TGEs 3 e 4.

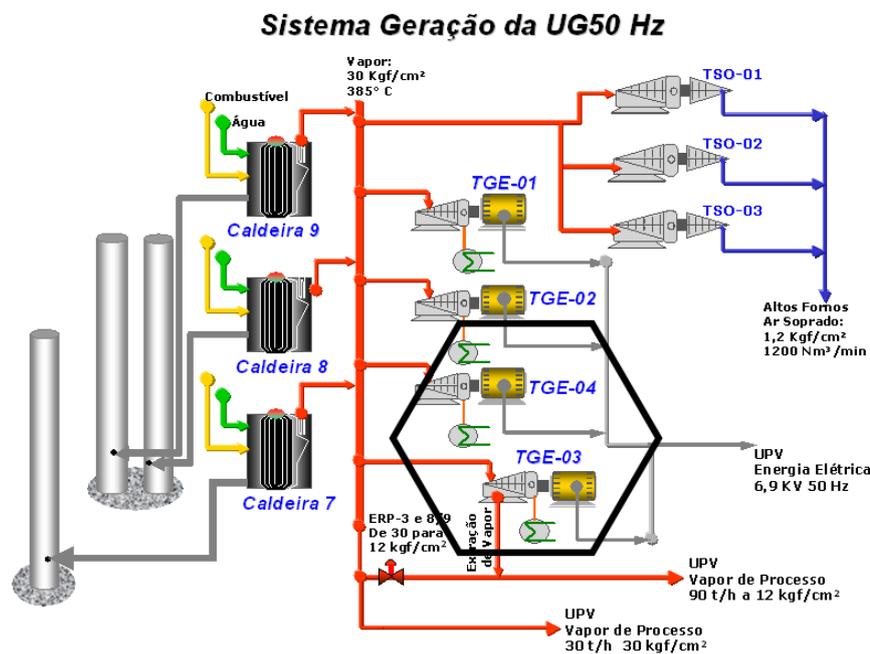


Figura 2. Processo UG50Hz.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA (TGE-3)

O turbo gerador 3 após incidente envolvendo seu sistema de lubrificação teve comprometido seus mancais e munhões. Neste episódio ocorreu arrastamento dos mancais e os mesmos foram reparados através da substituição do metal patente e limpeza dos munhões. Antes, porém que tivesse início o reparo novamente ficou comprometido o sistema por pequenos arrastes e folgas.

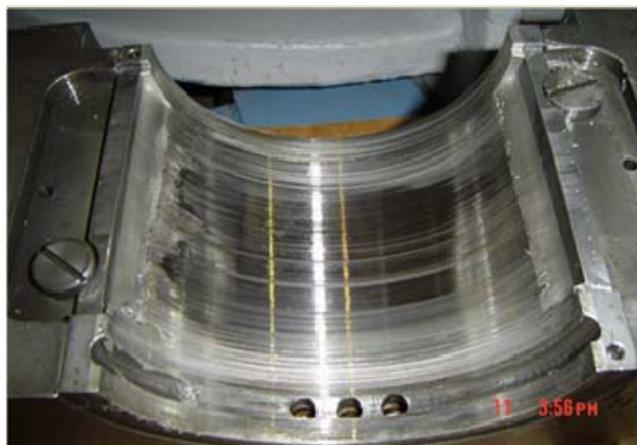


Figura 3. Mancal radial 2 com folga excessiva e arrastamento de material.

Antes deste trabalho a máquina vinha trabalhado com certos cuidados preventivos para evitar maiores comprometimentos, como por exemplo limpeza periódica das bases dos mancais para que não fluísse óleo para o interior do



gerador. Na Figura 4 vemos a excitatriz rotativa sem sua carenagem de proteção para possibilitar a limpeza periódica.



**Figura 4.** Excitatriz aberta para limpeza de óleo (diária).

Nesta mesma ocasião ficaram comprometidas as selagens e a partir daí o vácuo para o condensador ficou abaixo dos níveis necessários para um bom rendimento. Havia vazamentos de vapor principalmente durante as partidas do equipamento pelos labirintos de selagem da turbina.



**Figura 5.** Labirintos totalmente desgastados.

Os níveis de vibração ficaram em alerta, mas estáveis. Com o tempo a extração de vapor foi bloqueada para evitar maiores vibrações no conjunto, que começaram a ser verificadas com frequência quando se extraía vapor.



**Figura 6.** Estator impregnado com óleo e poeira gerando baixo isolamento.

O Gerador 3 apresentava resistência de isolamento do estator tão baixa que em algumas vezes, após as manutenções preventivas, foi necessário fazer o aquecimento artificial antes da liberação à operação.

Um relatório de empresa especialista condenou os anéis de contenção do bobinado do rotor do gerador por apresentar microtrincas e deformações e conseqüentemente apresentar risco de rompimento. Durante os dois últimos anos de funcionamento, a evolução do problema nos anéis foram acompanhadas, com paradas programadas de 4 em 4 meses, para inspeção com ultra som e liquido penetrante.



**Figura 7.** Rotor do gerador e anel de contenção.

## 6 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA (TGE-4)

O turbo gerador 4 passou por reparo geral em 2005 e apresentava após 5 anos de operação alguns problemas que lhe reduziram a capacidade de geração em 50%, que listamos a seguir: O *air cooler* composto por dois trocadores de calor montados lado a lado sob o gerador estava com um trocador totalmente isolado por vazamentos nos tubos e espelhos. Vazamento de óleo no mancal 1 e suspeita de obstrução no labirinto de selagem de vapor no lado de alta pressão. O controle automático de pressão de vapor de selagem estava funcionando precariamente.

Os problemas citados acima reduziram a capacidade e confiabilidade do conjunto.



## 7 SOLUÇÃO PROPOSTA

Ao longo de toda a vida útil dos turbo geradores da UG50Hz todos os reparos gerais tinham o objetivo apenas de restabelecer as condições de projeto o quanto fosse possível. Devido a robustez dos equipamentos, apesar da longa vida, sempre se conseguiu com sucesso o restabelecimento.

Com a evolução das tecnologias e a necessidade de melhorar o controle de processos, propusemos: obter além da recuperação de capacidade, mais confiabilidade com monitoramento on line, controles automáticos mais seguros, inserção de proteções, até então inexistentes e dentro do possível melhorar a eficiência do conjunto.

Levando em consideração o exposto acima foram elencados os principais serviços, equipamentos novos e soluções para atender os objetivos do trabalho, os quais citamos novamente: recuperação de capacidade, aumento de confiabilidade e eficiência.

## 8 PRINCIPAIS SERVIÇOS, EQUIPAMENTOS NOVOS E SOLUÇÕES (RESUMO)

- **Turbina**
  - Limpeza da Turbina no TGE03;
  - Substituição completa das pás do 5º estágio;
  - Recuperação de pás do 1º ao 16º estágio (rotor e estator);
  - Teste em túnel de disparo no TGE03;
  - Recuperação de mancais e brunimento de munhões no TGE03 e 4.
- **Gerador TGE3**
  - Substituição completa das bobinas do estator;
  - Substituição completa das bobinas do rotor;
  - Substituição dos anéis de contenção do gerador;
  - Teste em túnel de disparo;
  - Instalação de PDA;
- **Excitatriz TGE3 e 4**
  - Rejuvenescimento da excitatriz rotativa.
- **Equipamentos auxiliares do TGE03**
  - Substituição de motores;
  - Recuperação das bombas de condensado e óleo;
  - Troca completa do trocador de calor (*air cooler*) do gerador;
  - Troca de 300 tubos do condensador principal;
  - Retrofit de disjuntores e troca de cabeamento de potência e controle;
- **Atualização tecnológica**
  - Instalação de sistema de controle e supervisorio para todos os turbo geradores 3 e 4;
  - Instalação de Regulador automático de tensão no TGE03;
  - Partida, sincronismo e controle automáticos para a turbina e gerador no TGE03;



- Substituição completa de instrumentação da turbina, gerador e auxiliares no TGE03;
- Separação do sistema de controle hidráulico do sistema de lubrificação do TGE03;
- Substituição completa de tubulações de água, vapor e óleo no TGE03;
- Instalação de novo CCM no TGE03.

## 9 IMPLANTAÇÃO

### 9.1 Painéis Auxiliares

A seguir, demonstramos alguns itens relevantes da implantação do projeto e em alguns casos as dificuldades encontradas.



Figura 8. Painéis de Sincronismo da máquina e controle de carga / ilha.

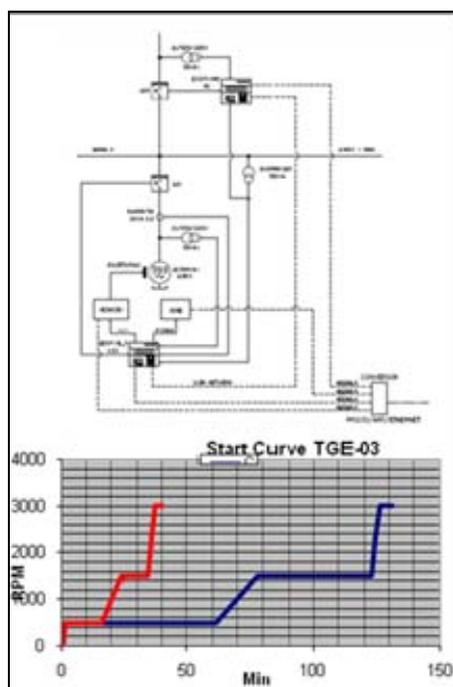


Figura 9. Partida controlada à quente e a frio controlada.<sup>(3)</sup>



A automação do conjunto turbina e gerador, foi feita com muito cuidado porque uma das premissas deste projeto é de que, os turbo geradores não poderiam ficar sujeitos a trips ocasionais, justamente porque o diferencial da UG50Hz em relação ao sistema interligado e a termelétrica 2 sempre foi, a menor sensibilidade aos distúrbios elétricos e que por este motivo, não foi desativada quando entrou em operação a termelétrica 2.

Para a automação da turbina e gerador foram utilizados três controladores Woodward<sup>(3)</sup> e a própria fornecedora fez o projeto para implementação.

Como pode ser visto acima alguns painéis foram acrescentados na sala de controle e a instrumentação do turbo gerador foi trocada por completo para atender a novas exigências.

Foram implementadas proteções até então inexistentes, o que trouxe mais segurança para os equipamentos. As proteções para o gerador exigiram um estudo maior, porque envolveu as cargas, os demais geradores e o barramento de 6,9kV.

## 9.2 Reparo da Turbina

A turbina GE de 16 estágios com extração de vapor no 4º estágio estava, conforme pode ser visto na Figura 10, com resíduos do vapor escrustados em praticamente todos os estágios.

A turbina foi totalmente recuperada. Primeiramente foi feita a limpeza e inspeção para avaliação de danos. A pás do 5º estágio havia roçado no estator e por este motivo foram trocadas por novas. Nos demais estágios foram feitas a recuperação com solda em pontos previamente identificados.

Após a recuperação foi feito teste em túnel de disparo para testar a integridade do rotor.



**Figura 10.** Turbina aberta com incrustações nas palhetas do rotor e danos nas pás do 5º estágio.

Na Figura 11 podemos ver a turbina recuperada. Foi necessário fazer o refino de balanceamento após a montagem do conjunto turbina e gerador.



**Figura 11.** Turbina totalmente recuperada.



**Figura 12.** Novo Sistema de controle da Turbina.

## 9.2 Sistema de Óleo

Os turbo geradores, originalmente foram concebidos com um sistema único de óleo, que atendia à lubrificação da máquina (mancais) e o controle de velocidade da turbina (governador).

Para que o novo sistema de controle funcionasse a contento foi necessário instalar mais duas bombas de óleo com pressão de óleo bem superior. Inicialmente não foi atentado para a qualidade do óleo e após os primeiros testes foi necessário modificar o sistema proposto. As válvulas eletrônicas de posicionamento dos cilindros hidráulicos para controle de admissão de vapor, que foram posicionadas a quase 6 metros da turbina, tiveram de ser relocadas para mais perto (1m), devido a perdas de carga adicionadas. Foi necessário também instalar um novo tanque de óleo para garantir a qualidade do óleo de controle com isenção de água e particulado. As modificações citadas foram um desafio a parte devido às interferências existentes para fazer as modificações necessárias.



## 10 PROBLEMAS E SOLUÇÕES

### 10.1 Problemas



Figura 13. Sistema de controle com oscilações.

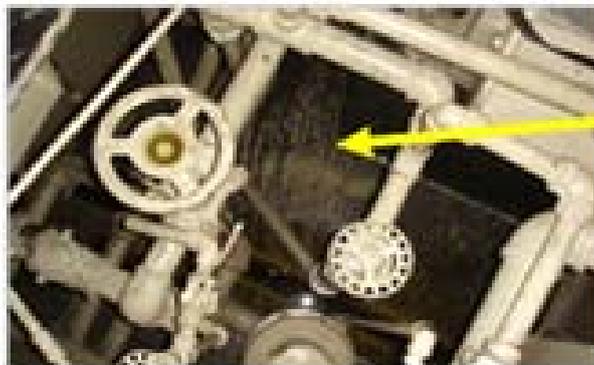


Figura 14. Contaminação com partículas no sistema de óleo.

### 10.2 Soluções



Figura 15. EHPS instalada próxima a turbina e ao cilindro de controle.



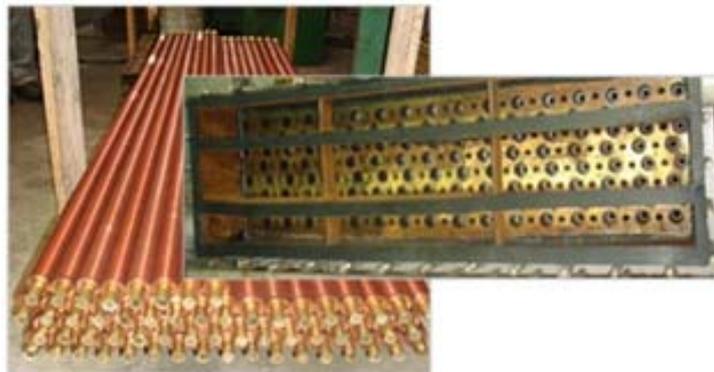
**Figura 16.** Tanque de óleo de controle isolado do óleo de lubrificação da máquina.

### 10.2.1 Reparo no turbo gerador 3 e 4

Nas figuras a seguir podemos ver o reparo dos mancais, a troca completa dos tubos do air cooler, o rejuvenescimento da excitatriz e pintura geral das máquinas.



**Figura 17.** Recuperação do sistema de controle das válvulas HP.



**Figura 18.** Substituição de todo o sistema de tubos do ar cooler.



**Figura 19.** Revisão da excitatriz.



**Figura 20.** Rejuvenescimento de toda a pintura.

## 10.2.2 Nova condição de operação

Nas figuras a seguir podemos ver que o trabalho dos operadores foi facilitado, pois a maior parte das operações foram automatizadas, podendo ser feitas da sala de controle, através do supervisor.

Alguns riscos operacionais foram eliminados. A partida da máquina tornou-se menos suscetível ao erro humano, porque diversas condições precisam ser atendidas para que a turbina seja acelerada. A própria curva de aquecimento que antes estava totalmente sujeita a avaliação do operador passou a ser feita automaticamente. O sincronismo do gerador com o sistema elétrico, que antes deste trabalho era feito manualmente e que, devido a dependência dos sentidos do operador, sempre foram alvo de muito treinamento e stress, tornaram-se apenas mais um passo a ser feito automaticamente pelo sistema.

Apesar de não existir nada de extraordinário no feito, se comparado às tecnologias existentes, temos de levar em consideração que estamos falando de um equipamento com mais de 70 anos de vida útil. E que após este trabalho e devido à robustez do equipamento em questão, podemos estimar ainda vários anos de operação. Podemos citar alguns pontos importantes que o sistema de automação propiciou:

- facilidade e rapidez de operação;
- redução de stress;
- histórico de eventos e alarmes;

- curvas de tendência; e
- relatórios gráficos.



Figura 21. Sistema Supervisório de controle deo Turbo Gerador nº 03.

## 11 RESULTADOS

- Foi recuperada a capacidade de geração da UG50Hz de 14 para 24 MWh
- Recuperada capacidade de extração de vapor no turbo gerador 3 (50 t/h).
- O Turbo Gerador 3 foi automatizado e os demais turbo geradores também são monitorados via supervisório
- Em conseqüência destes feitos e por questões referentes à segurança do processo foi possível reduzir 12 t/h de vapor nos turbo sopradores.
- Foi reduzido o ruído nos turbo sopradores 1 e 3 com a entrada em operação da extração do TGE-3.
- Com a utilização da extração do turbo gerador 3 aumentou-se a eficiência da termelétrica que passou a usar a extração em detrimento das redutoras de pressão.
- Aumentada a confiabilidade operacional, pela monitoração de todas as variáveis do processo de geração de energia elétrica e controles automáticos implantados.

### 11.1 Financeiro

Redução de Custo de R\$6.660.928,83.

Esta redução de custo anual é relativa a redução de consumo de vapor de 30 bar, aumento de geração de energia elétrica, aumento de eficiência por utilização da extração ao invés da redutora e redução de mão de obra.

### 11.2 Tecnológico

Automação de atividades críticas que melhoraram o desempenho operacional.

### 11.3 Inovação

A mudança no modelo de reparo geral para recuperação com atualização tecnológica.



## 11.4 Meio Ambiente

Redução de ruído nos turbo sopradores, eliminação de drenos de selagem para o interior dos diques dos TGE's.

## 11.5 Segurança

Melhoria significativa no sistema elétrico: CCM dentro da norma NR-10, adequação de painéis locais, sinalizações, identificação, SPCI.

## 11.6 Sistema de Emergência

Aumento da Disponibilidade de equipamento, Aumento na rapidez do atendimento de emergência e Redução de oscilações de nível nas caldeiras durante atendimento à emergências.

## 12 CONCLUSÃO

Imediatamente após este trabalho e a entrada em operação do turbo gerador 3, como podemos observar no gráfico abaixo, foi possível aumentar a recuperação de gás de alto forno na UG50Hz, o que demonstra a redução do desperdício de gás e o aumento na geração de vapor disponível para geração de energia elétrica, vapor de processo e ar soprado.

Ficou comprovado que a estratégia de recuperação dos equipamentos fazendo a atualização tecnológica tem inúmeras vantagens e que por isto deverá ser adotada para os demais equipamentos da UG50Hz.

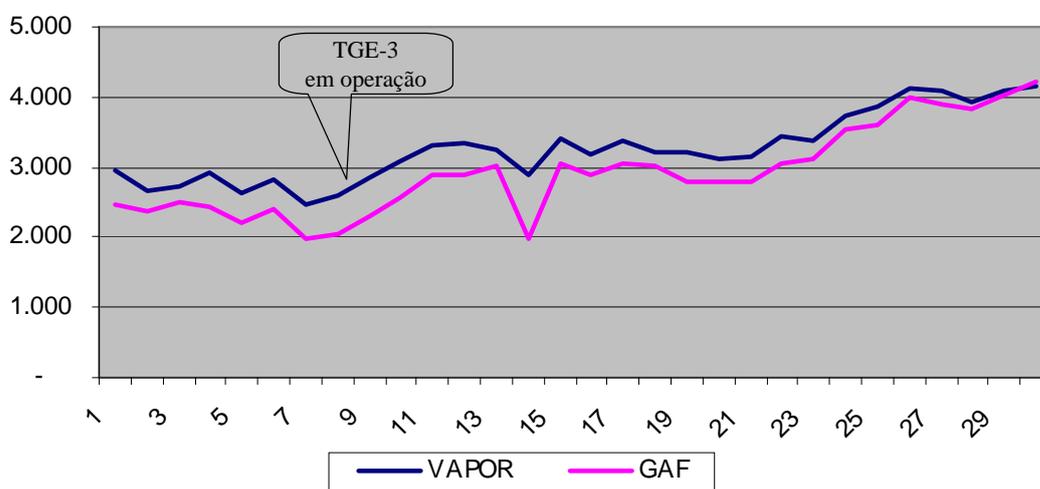


Figura 21. Ganho no consumo de Gás de Alto Forno com a operação do TGE03.



## REFERÊNCIAS

- 1 Moran, Michael J.. Princípios de Termodinâmica para Engenharia; 6º ed; Rio de Janeiro; 2009;
- 2 Manual de operação e manutenção General Electric; 1954 – Turbine Generator 3;
- 3 Manual de Instalação e Operação Woodward – 505E Digital Governor for Extration Steam Turbines; vol1 e 2