

# SEQÜÊNCIA AUTOMÁTICA COM DOIS REGENERADORES PARA O ALTO-FORNO#2 DA CSN<sup>1</sup>

*Eduardo Rezende Bellef<sup>2</sup>  
Ricardo Sebastião Nadur Motta<sup>2</sup>  
Roberto de Oliveira Mariano<sup>3</sup>  
Joelma Santos Lotes<sup>3</sup>*

## Resumo

O Alto-forno#2 da CSN produz cerca de 4200 t gusa/dia e possui três regeneradores operando em seqüência automática do tipo 1-2-3-1-2-3. Eles aquecem o refratário no ciclo de gás, e depois sopram para alto-forno. O ar frio de entrada vindo do motosoprador possui aproximadamente 150°C. Após sua passagem pelo regenerador, a temperatura é elevada para cerca de 1350°C. Em seguida o ar quente é injetado na câmara de transição junto com o ar frio e conduzido ao alto-forno. Durante os reparos gerais e MP's dos regeneradores, o AF#2 tem que funcionar somente com dois regeneradores, resultando numa temperatura de sopro menor (cerca de 800°C). A seqüência normal que previa 1-2-3-1-2-3 não estava preparada para a nova condição operacional, obrigando o operador a controlar a seqüência de troca em manual, resultando em atrasos e imprecisões nos tempos de manobra. Isto diminuía a temperatura de sopro final devido ao esgotamento dos regeneradores. O desenvolvimento permitiu ao alto-forno trabalhar com dois regeneradores em modo automático. Assim, pode-se programar o sequenciamento de tal maneira a deixar qualquer um dos três regeneradores em manutenção, podendo seguir o padrão 1-2-1-2 ou 2-3-2-3 ou ainda 1-3-1-3, proporcionando a liberação da mão-de-obra do operador e a otimização dos tempos de manobra. Esta ação contribuiu para a estabilidade operacional e manutenção dos níveis de produtividade elevados de 2,53 t gusa/dia/m<sup>3</sup>, mesmo com temperatura de sopro de 800°C. Não conhecemos nenhuma referência de alto-forno a nível mundial com estes patamares de produção e temperatura.

**Palavras-chave:** Alto-forno; Regeneradores; Sequenciamento.

## AUTOMATIC SEQUENCE WITH ONLY TWO HOT STOVES FOR CSN'S BLAST FURNANCE #2

### Abstracts

The CSN's blast furnace #2, BF#2, produces about 4200 THM daily and has got three hot stoves operating in automatic sequence type 1-2-3-1-2-3. They heat up the refractory in the gas cycle, and later they blow for the blast furnace. The incoming cold air from the moto blower has got 150°C approximately. After its passage trough the hot stoves, the temperature is raised up to 1350°C. Afterwards, the hot air is injected in the transition camera with the cold air and driven to the hot blast bustle pipe and then to the blast furnace. During the general repairs and hot stoves preventive maintenance, the BF#2 has to work only with two hot stoves, resulting in a lower blow temperature (about 800°C). The normal sequence foresaw 1-2-3-1-2-3, and was not prepared for the new operational condition, forcing the operator to control the changeover sequence manually, resulting lack of accuracy and lost of manpower. This decreased the temperature of final blow due to the exhaustion of the hot stoves and manual operation. The development allowed BF#2 to work with two hot stoves in the automatic way. Thus, the sequence in a such way can be programmed to leave anyone of the three hot stoves in maintenance, following the new pattern 1-2-1-2 or 2-3-2-3 or still 1-3-1-3, providing the liberation of the operator's manpower and the optimising of the times of changeover. This action operational gave us stability and less BF#2 maintenance, allowing high levels productivity of 2,53 THM/day/m<sup>3</sup>, with temperature of blow of 800°C. We have not noticed any Blast furnace around the world with such a productivity at low blast temperature.

**Key words:** Blast furnace; Hot stoves; Sequence.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiros de Manutenção Sênior – [nadur@csn.com.br](mailto:nadur@csn.com.br)*

<sup>3</sup> *Técnicos de Controle de Processos – [mariano@csn.com.br](mailto:mariano@csn.com.br)*

## 1 INTRODUÇÃO

O Alto-forno#2 da CSN produz cerca de 4200 t/gusa/dia. Ele possui três regeneradores operando em seqüência automática do tipo 1-2-3-1-2-3. Os regeneradores são responsáveis por regenerar a energia entálpica do gás de alto-forno, aquecendo o refratário no ciclo de gás, e soprando para alto-forno no ciclo de sopro. A temperatura do ar frio de entrada do motosoprador é de aproximadamente 150°C. Após a passagem pelo regenerador, sua temperatura é elevada para cerca de 1350°C, sendo injetada na câmara de transição junto com o ar frio. Assim, a temperatura de sopro para o alto-forno pode ser controlada. Os principais equipamentos dos regeneradores são as ventoinhas, as válvulas de fechamento e controle, o revestimento refratário, juntas de expansão, transmissores de processo, termopares e pirômetros, além do PLC responsável pelo controle.

A campanha do revestimento refratário do regenerador dura cerca de 20 a 30 anos. Após este período é necessário refazer toda a estrutura refratária gastando-se em média 70 dias de reparo. Além disto, ocorrem as manutenções preventivas periódicas dos regeneradores fora da MP do AF#2. Durante estes períodos, o AF#2 tem que funcionar somente com dois regeneradores, resultando numa temperatura de sopro menor (cerca de 800°C) devido a indisponibilidade de um dos três. A seqüência normal que previa 1-2-3-1-2-3 não estava preparada para a nova condição operacional, obrigando o operador a controlar a seqüência de troca dos regeneradores em modo manual, a cada 90 minutos. O resultado é que os atrasos operacionais e as imprecisões de tempo nas trocas manuais levavam a queda da temperatura de sopro final devido ao esgotamento dos regeneradores.

## 2 CONSTITUIÇÃO DOS REGENERADORES

Os regeneradores do Alto Forno 2 são do tipo de câmara de combustão interna, sendo os tijolos refratários do tipo sílico-alumino, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

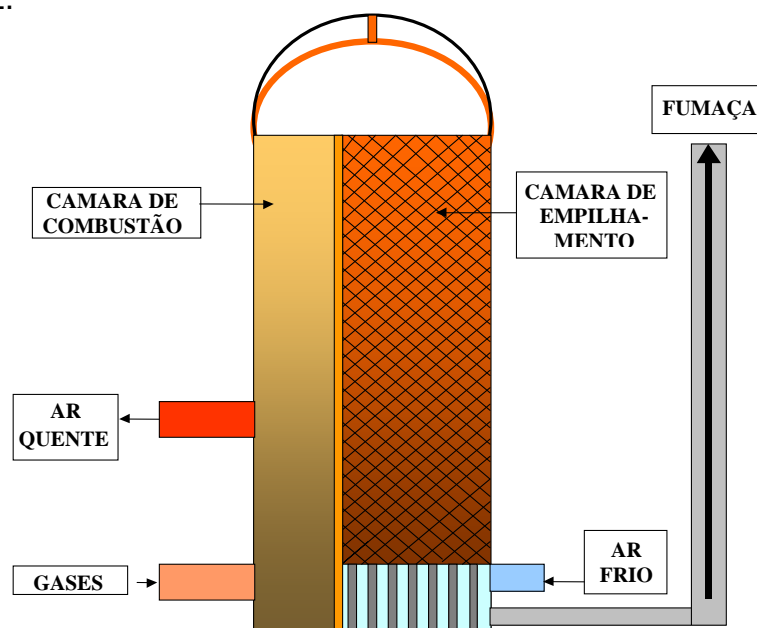
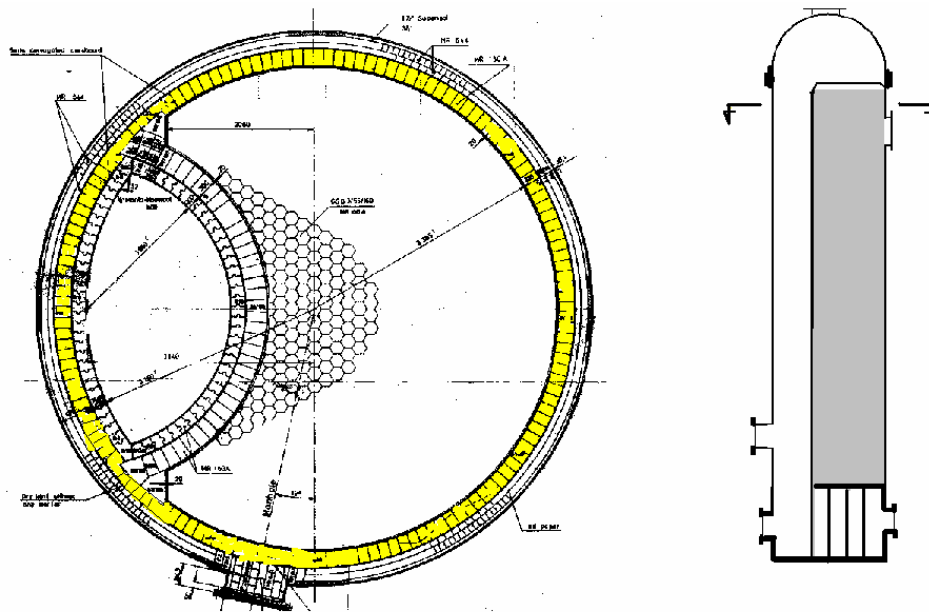


Figura 1- Perfil do regenerador do Alto-forno 2.



**Figura 2-** Visão em corte da câmara de refratários do regenerador.

O Alto-forno n.º 2 trabalha com 3 regeneradores tal como ilustra a Figura 3, que aquecem o ar por 60 min./cada e seus empilhamentos são aquecidos durante 51 minutos. A diferença de tempo de nove minutos para se completar 60 minutos, é devido ao tempo necessário para abertura e fechamento de várias válvulas nas linhas de abastecimento e para troca do curso e regulagem dos equipamentos.



**Figura 3 –** Visão dos regeneradores do AF#2.

Cada regenerador possui uma ventoinha, que fornece ar para a combustão. A mistura de ar, gás de alto-forno (GAF) e gás de coqueria (GCO) que se inflama no

queimador da câmara de combustão, forma um fluxo de gás que vai ao domo do regenerador e se dirige para o interior da câmara de empilhamento.

Devido ao formato dos tijolos do empilhamento (tipo colmeia, Figuras 4 e 5 ), o fluxo de gás se divide pelos diversos orifícios dos tijolos, chegando na altura dos suporte do empilhamento praticamente sem energia para ceder ( $\pm 300^{\circ}\text{C}$ ). O gás sai do interior do regenerador pelas válvulas chaminé, que ficam abaixo da grelha de sustentação do empilhamento.

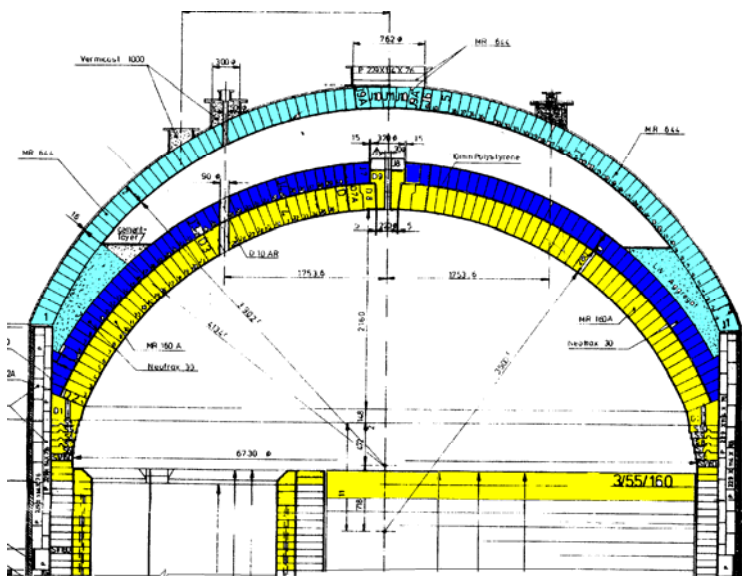


Figura 4 - Desenho e foto interna do revestimento refratário do domo.



Figura 5 - Foto interna do revestimento refratário "Tipo Colmeia".

Uma vez que as temperaturas do domo ( $1300^{\circ}\text{C}$ ) e a da válvula chaminé ( $300^{\circ}\text{C}$ ) atinjam as temperaturas estipuladas o regenerador em questão é considerado AQUECIDO. Após o aquecimento, o regenerador é isolado e fica aguardando a sua vez de entrar no circuito para fazer o aquecimento do ar que está sendo injetado no alto-forno. Quanto menor o intervalo de tempo que o regenerador ficar isolado, melhor será a sua eficiência, pois mesmo isolado o regenerador tende a perder temperatura.

Após o regenerador ser aquecido e isolado inicia-se o período de sopro, com a abertura das válvulas de ar frio e a de ar quente (estando o regenerador pressurizado). Para se abrir a válvula de ar frio é necessário que o regenerador tenha a mesma pressão da linha de ar frio, visto que, tendo um outro regenerador

em sopro, a pressão da linha de ar frio é a mesma do Alto-forno, bem maior que a existente no regenerador isolado. Para que isso se torne possível, existe a válvula equalizadora, que permite a passagem de ar frio afim de se igualar as pressões.

O ar frio faz o caminho inverso do gás (no período de aquecimento), entra pela válvula de ar frio, localizada na altura dos suportes do empilhamento, aquecendo-se. O ar quente sai pela válvula de ar quente localizada na parte baixa da câmara de combustão, indo para a linha geral de ar quente. Na linha de ar quente, um pouco antes do Anel de Vento, existe uma câmara de mistura, comum para os 3 (três) regeneradores. Nesta câmara existe uma válvula que permite a injeção controlada de ar frio para se misturar com ar quente, permitindo que se tenha uma temperatura de ar quente constante durante todo o período de sopro.

Quando um regenerador não consegue aquecer o ar até a temperatura pedida diz-se que o regenerador está “esgotado”, sendo então providenciada a troca deste por um outro aquecido. Logo após a retirada de um regenerador de operação, começa o seu ciclo de aquecimento. Um regenerador que está saindo do período de sopro é primeiramente isolado, e para entrar no ciclo de aquecimento é necessário aliviar a sua pressão, pois o regenerador estava com a mesma pressão da linha de ar quente. Esta despressurização é feita através da válvula de alívio. Estando o regenerador aliviado (pressão atmosférica) inicia-se o seu ciclo de aquecimento.

### 3 DADOS TÉCNICOS SOBRE OS REGENERADORES DO ALTO-FORNO#2

A Tabela 1 fornece os dados técnicos sobre os regeneradores do alto-forno#2:

**Tabela 1-** Dados dos regeneradores do alto forno 2 da CSN:

	UNIDADE	A.F. II
Quantidade	Regeneradores	3
Altura Total	mm	41.986
Diâmetro Total	mm	7.670
Superfície Total de Aquecimento	m <sup>2</sup>	37.332
Peso Total do Empilhamento		
Superfície do Empilhamento	t	1.371
Volume do Empilhamento	m <sup>2</sup>	26,32
Vazão de sopro	m <sup>3</sup>	913,3
Temperatura do Domo	Nm <sup>3</sup> /min	2.700
Temperatura do Ar Quente	°C	1.300
Temperatura do Ar Frio	°C	1.150
Pressão do Ar Quente (máx.)	°C	112
Perda de Temperatura do Gás	bar	2,77
Tempo de Sopro	°C	190
Tempo de Aquecimento	min.	60
Tempo de Reversão	min.	51
Calorias Necessárias	min.	9
Total de Calorias Necessárias	Kcal/h	54,88 x 10 <sup>6</sup>
Eficiência do Regenerador	Kcal/h	64,33 x 10 <sup>6</sup>
Taxa de Gás Misto no Aquecimento	%	86,5
Taxa de GAF no Aquecimento	Kcal/Nm <sup>3</sup>	960
Taxa de GCO no Aquecimento		
Vazão de GAF	Kcal/Nm <sup>3</sup>	815
Vazão de Ar de Combustão	Kcal/Nm <sup>3</sup>	4.441
Vazão de Gás de Coqueria	kgNm <sup>3</sup> /h	58
	kgNm <sup>3</sup> /h	52
	Nm <sup>3</sup> /h	4.300

## **4 PROCESSO DOS REGENERADORES**

### **4.1 Sistema de Equalização**

A equalização dos regeneradores é feita através de um ramal que sai da linha de ar frio, onde, abre-se a válvula equalizadora e controla-se a vazão de entrada de ar pela válvula controladora de equalização para se equalizar o regenerador no tempo determinado (9 min). Essa equalização é feita para deixar o regenerador com a mesma pressão do forno para iniciar sua seqüência de sopro.

### **4.2 Sistema de Aquecimento**

O aquecimento dos regeneradores é feito através da queima do gás de alto forno enriquecido com gás de coqueria (gás de coqueria possui poder calorífico maior que gás de alto forno) e do ar soprado pela ventoinha. Este sistema possui três válvulas de gás, a de fechamento, a de segurança e a controladora, além da ventoinha, que sopra o ar, e possui também a válvula tampão que separa o regenerador do sistema de aquecimento.

### **4.3 Sistema de Ar Soprado**

O ar que é soprado no AF #2 vem do moto soprador e passa pelo regenerador (ar que é soprado pelas ventaneiras) fazendo assim a troca de calor com a torre de empilhamento. Esse ar vem com uma temperatura de + ou - 140°C devido ao atrito que o mesmo provoca ao retirar o ar da atmosfera.

### **4.4 Sistema de Enriquecimento de Ar Soprado**

O ar é enriquecido com oxigênio a 3,5 a 5 %.

### **4.5 Sistema de Enriquecimento de Gás de Alto-forno**

O GAF é enriquecido com GCO por não possuir um PCI (poder calorífico) alto, embora tenha um volume superior ao GCO. Portanto o gás misto é a junção do volume do GAF com o PCI do GCO. o GAF pode ser enriquecido com GN (gás natural) também mas não é muito usado por que o GN possui um volume menor que o GCO.

### **4.6 Seqüenciamento das Válvulas dos Regeneradores**

Na seqüência de isolado para sopro (com as 2 chaminés fechadas) fecha-se o alívio, abre-se a equalizadora, abre-se a controladora de equalização e após 9 min. com o regenerador equalizado, abre-se a válvula de ar frio e de ar quente, fecha-se a equalizadora e a controladora de equalização. De sopro para gás, fecha-se a válvula de ar quente e a de ar frio, abre-se o alívio, o regenerador despressuriza, abre-se as duas chaminés, fecha-se o alívio e faz-se a seqüência de gás; liga-se a ventoinha, abre-se a válvula tampão, abre-se a válvula de fechamento, a segurança (fecha-se o alívio da linha de gás) e abre-se a válvula de controle de gás. Da fase de "em gás" para isolado, fecha-se a válvula de controle, a válvula de segurança e a válvula de fechamento,. Fecha-se a válvula tampão, desliga-se a ventoinha, abre-se o alívio fecha-se a chaminé.

## 5 PRINCIPAIS CONTROLES DOS REGENERADORES

- Controle da relação ar/gás

Para que se tenha um bom encharque no regenerador é necessário que se tenha uma boa relação ar/gás (quantidade de ar em relação ao gás), que varia de 0,900 a 0,960 kgNm<sup>3</sup>/h.

- Controle de temperatura do domo e da chaminé.

A temperatura de trabalho do domo é de 1300°C podendo chegar a 1340°C. Quando isso ocorre, o regenerador isola automaticamente, o mesmo ocorre quando a temperatura da chaminé atinge 300°C. Se caso o regenerador não isolar com 300°C, quando ele atingir 305°C ele é isolado pelo sistema de segurança.

- Controle de temperatura de sopro

Quanto mais uniforme for a temperatura do ar soprado (ar quente), melhor será para o processo de redução no forno, por isso se controla a temperatura do ar soprado através da válvula de ar de mistura.

- Controlar emissão de fumaça negra pela chaminé

Esta fumaça nada mais é do que a má queima, ou não queima dos gases no processo de aquecimento dos regeneradores.

## 6 TRABALHO DESENVOLVIDO

A matriz de programação localizada na mesa de controle indica a ordem de sopro dos regeneradores e é composta por três linhas e três colunas. As colunas da direita para a esquerda indicam o número dos regeneradores e as linhas indicam a seqüência de sopro do regenerador para o alto-forno. O botão que estiver aceso indica o próximo regenerador a entrar para a seqüência de sopro. Para programar a matriz basta pressionar o botão na ordem desejada 1-2-3-1-2-3, 2-3-1-2-3-1 ou 3-1-2-3-1-2.

Para a seqüência 2-3-1-2-3-1 a mesma pode ser programada conforme a Figura 6.



**Figura 6** - matriz com três regeneradores programados

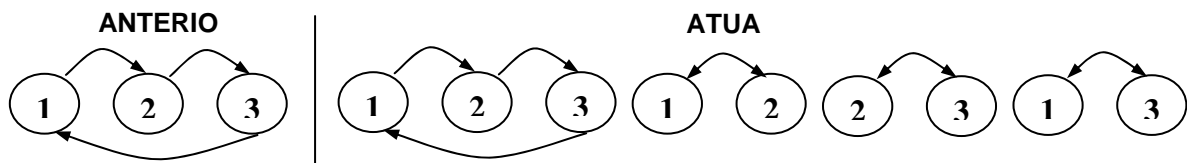
Para operar dois regeneradores, no programa do PLC modelo S5-150 do fabricante Siemens foram implementadas condições que consideram apenas as duas primeiras linhas da matriz, onde devem ser programados apenas dois regeneradores, desconsiderando a última linha (Figura 7); e também condições para identificar um regenerador no modo manual ou local. Este será o regenerador que estará fora de operação. Os dois regeneradores que permanecerem em modo automático, que serão os dois que irão soprar para o alto-forno.



**Figura 7** - matriz com dois regeneradores programados na seqüência 2-3-2-3.

Anteriormente o programa foi desenvolvido somente para operar seqüencialmente com 3 regeneradores. Quando um regenerador está soprando para o forno, o seu programa prepara o regenerador seguinte que está aquecendo para sopro (gás para sopro), sucessivamente até completar o ciclo, ou seja, o programa do regenerador 1 só preparava o programa do regenerador 2, assim como o do regenerador 2 preparava somente o do regenerador 3 e reg. 3 preparava o do reg. 1.

Atualmente foi desenvolvido no programa as condições para operar os regeneradores de forma aleatória. Quando um regenerador está soprando para o forno, o seu programa prepara o regenerador seguinte ou anterior que está aquecendo para sopro, sucessivamente até completar o ciclo, ou seja, agora o programa do reg. 1 prepara o do reg.3 e vice versa, o do reg. 2 prepara o do reg.1 e o do reg. 3 prepara o do reg. 2, como ilustrado na Figura 8.



**Figura 8** – Modo de sequenciamento dos regeneradores.

Observando que além destas condições devemos ter ainda a de “apenas dois regeneradores operando” na mesma lógica destes programas.

O tempo de manobra com 3 regeneradores continua com 60 minutos soprando para o forno e 51 minutos em aquecimento. Para operar com dois regeneradores foi implementado no programa tempos diferentes para manobras sendo de 90 minutos para soprar e 81 para aquecer.

## 7 CONCLUSÕES

O desenvolvimento realizado permitiu ao alto-forno trabalhar com dois regeneradores em modo automático nas manutenções preventivas periódicas ou na reforma geral dos regeneradores. Assim, agora, o operador pode programar o sequenciamento de tal maneira a deixar qualquer um dos três regeneradores em manutenção. A seqüência automática pode seguir o padrão estabelecido 1-2-1-2 ou 2-3-2-3 ou ainda 1-3-1-3.

A nova seqüência proporcionou a liberação da mão-de-obra do operador, a redução dos tempos de regenerador isolado, além de garantir os intertravamentos de segurança e troca precisa, respeitando os tempos pré-determinados para os ciclos de combustão e sopro. Esta ação contribuiu para a estabilidade operacional e manutenção dos níveis de produtividade elevados de 2,53 tgusa/dia/m<sup>3</sup>, mesmo com temperatura de sopro de 800°C. Não conhecemos nenhum alto-forno a nível mundial com estes patamares de produção e com esta temperatura de sopro baixa.