

BLOW DOWN E DRENAGEM DA SALAMANDRA DO ALTO-FORNO N°2*

Filipe Soares Pontes¹
Guilherme Augusto Faria²
Raylander Rocha Pessoa³
Péricles Guimarães Oliveira Aguiar⁴
Andre Mendes Carneiro Lyrio⁵
José Roberto Simão⁶
Paulo Cesar Gonçalves⁷
Sebastião Moraes Miranda⁸
Pedro Gonçalves dos Reis⁹
Wilson Peris Miranda¹⁰

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar o planejamento, as adequações nos equipamentos e os resultados obtidos durante o abaixamento de carga (*blow down*) e drenagem da salamandra do Alto-Forno 2 da Aperam South America.

Palavras-chave: Alto-Forno; *Blow Down*; Salamandra.

BLOW DOWN AND SALAMANDER TAP OF THE BLAST FURNACE N ° 2

Abstract

The objective of this work is to present the planning, the equipment adjustments and the results obtained during the blow down and salamander tap of the Blast Furnace 2 of the Aperam South America.

Keywords: Blast Furnace; Blow Down; Salamander.

¹ Engenheiro Metalurgista, Gerente de Processo, Redução, Aperam South America, Timóteo.

² Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo, Redução, Aperam South America, Timóteo.

³ MSc Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁴ MSc Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁵ Engenheiro Metalurgista, Gerente do Alto-Forno 2, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁶ Técnico Mecânico, Supervisor de Operação, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁷ Engenheiro Produção, Analista de Gestão, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁸ Engenheiro Eletricista, Gerente Executivo, Redução, Aperam South America, Timóteo.

⁹ Técnico Eletricista, Técnico em instrumentação, Redução, Aperam South America, Timóteo.

¹⁰ Técnico Eletricista, Técnico em instrumentação, Redução, PCE Planejamento Consultoria e Engenharia LTDA, Timóteo.

1 INTRODUÇÃO

Os Altos-Fornos são equipamentos utilizados para a produção de ferro-gusa, que é uma das principais matérias-primas utilizadas para a fabricação do aço. Atualmente, aproximadamente 60% do aço produzido no mundo tem como origem o ferro-gusa líquido produzido em Altos-Fornos.

A parada definitiva de um Alto-Forno pode ser dividida em 3 etapas: abaixamento de carga, drenagem da salamandra e *blow down* (interrupção do sopro de ar no interior do Forno). O sucesso na execução dessas etapas é fundamental para a realização de uma reforma, abafamento ou até mesmo a parada definitiva de um Alto-Forno.

O abaixamento de carga é a operação do forno sem o seu carregamento simultâneo. Uma vez que o gás da cuba não troca calor com a carga fria, a temperatura do gás que vai para o topo aumenta, podendo comprometer a integridade dos equipamentos de topo. Outro efeito do abaixamento de carga está na composição do gás de topo, à medida que a carga vai reduzindo e aproximando das ventaneiras, o CO₂ formado tem pouca chance de transformar em CO, aumentando o risco do oxigênio ficar livre e formar uma mistura explosiva.

Para o controle do abaixamento de carga é necessário adequar/installar equipamentos para monitorar temperatura de topo, composição do gás de topo, altura da carga e inertização do Alto-Forno.

O vazamento da salamandra é a drenagem do gusa da parte inferior do cadinho, esse procedimento ocorre após o abaixamento da carga. Ele consiste em perfurar a carcaça e o refratário do cadinho, em uma posição estratégica, para drenar o máximo possível de gusa, reduzindo o tempo de limpeza do cadinho após o *blow down*.

No dia 13 de dezembro de 2017 às 18 horas foi iniciado o abaixamento de carga do Alto-Forno nº2 da Aperam South America, e às 07 horas da manhã do dia 14 de dezembro de 2017 foi interrompido o sopro de ar no interior do forno, caracterizando o *blow down* (fim da campanha do Alto-Forno).

A reforma do Alto-Forno nº2 consistiu em: Adequação do cadinho (refratário e volume útil), shotcrete da rampa até a cuba, reforma a quente dos cowpers 1 e 2, reforma a frio do cowper 3, recuperação do coletor e lavador de gás, reforma do canal e atualização do plano de manutenção do soprador.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Abaixamento de Carga

2.1.1 Adequação dos equipamentos

SPRAYS DO TOPO

Os *sprays* de topo tem como objetivo controlar a temperatura do topo com a formação mínima de H₂ possível. São necessários *sprays* especiais para formação de névoa e não de gotas d'água, como é o caso dos *sprays* padrões do forno.

Características dos *sprays*:

- Quantidade: 4 *sprays*;
- Capacidade: 12,6 m³/h;
- Pressão da água: 2,3 kg/cm²
- Tipo: FullJet H-W

O controle dos *sprays* é realizado por comandos na tela do supervisor, cada *spray* tem seu comando de abre/ fecha. A figura 1 apresenta o posicionamento e a foto do *spray* de topo.

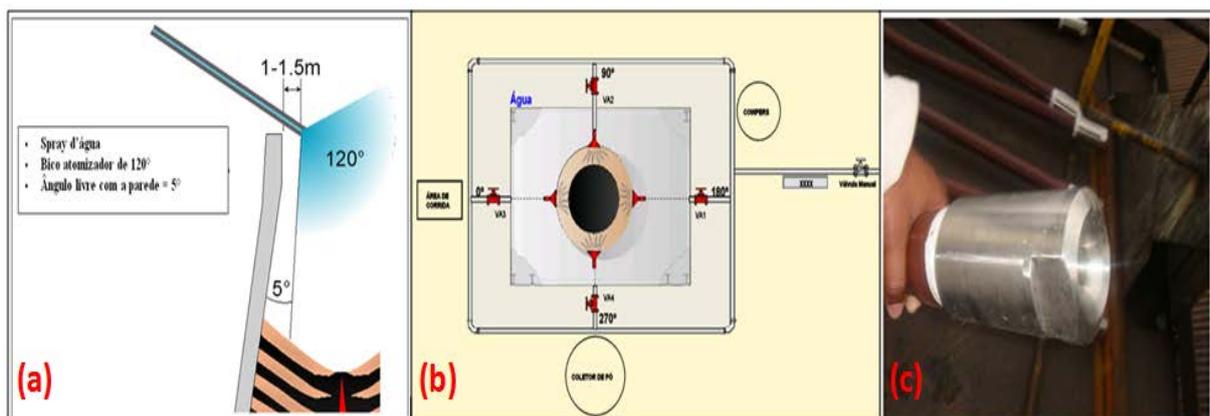


Figura 1. Desenho esquemático da posição do *spray* (a); Tela de comando do *sprays* (b); Foto do *spray* (c).

ANÁLISE DE GÁS

O analisador do gás de topo tem como objetivo garantir o monitoramento da composição do gás de topo durante todo o período do abaixamento de carga, permitindo definir o melhor momento para retirar o gás da linha (sistema de gás da empresa).

Para garantir a análise constante do gás de topo, foram montados: 4 pontos de coletas nos *Up takes* (1 por *up take*), 2 *racks* para captação do gás, 2 sistema de análise de gases da ABB, 1 tela no supervisor para monitoramento. A figura 2 apresenta o desenho esquemático dos *racks* de captação do gás e dos analisadores.

Faixas de análise:

H₂: 0 – 20%

CO: 0 – 40%

CO₂: 0 – 30%

O₂: 0 – 10%

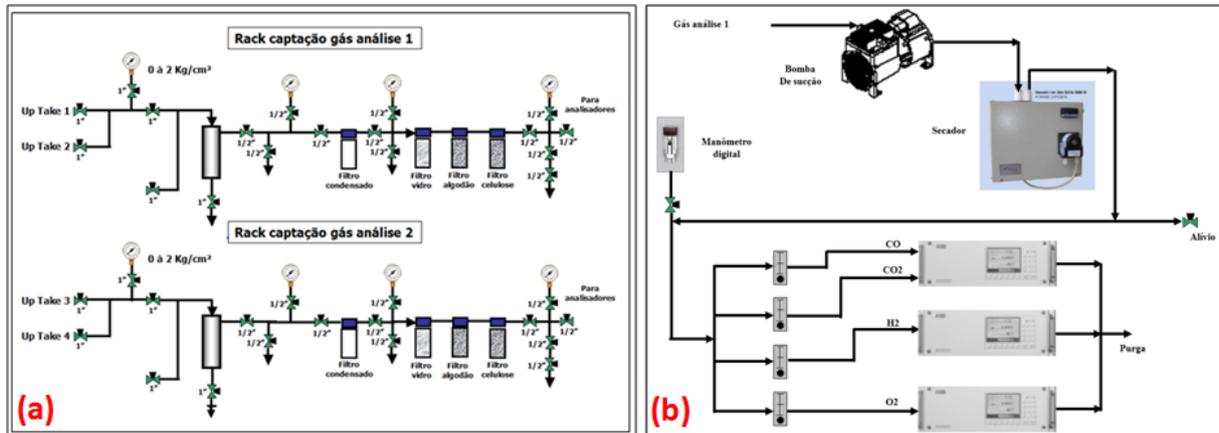


Figura 2. Desenho esquemático do rack de captação do gás (a); Desenho esquemático do analisador de gás (b).

INERTIZAÇÃO DO FORNO

A inertização do forno é realizada através da injeção de vapor à medida que a carga vai abaixando, o objetivo é diluir os gases gerados durante o processo, evitando mistura explosiva. A figura 3 apresenta a tela para controle das tomadas de injeção de vapor.

Característica das tomadas de vapor:

- Tubulação de 1”;
- Distância da extremidade da tubulação em relação a face quente de 10mm;

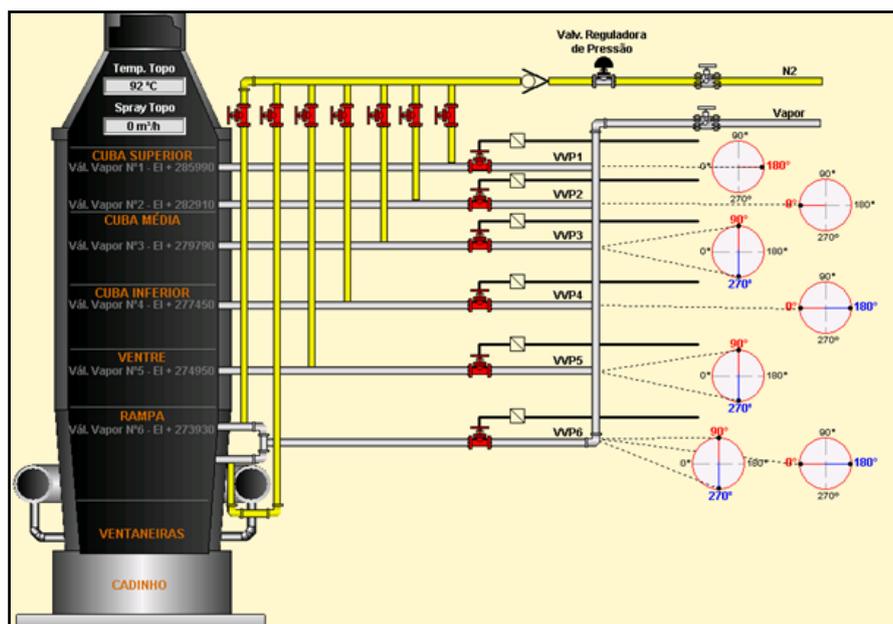


Figura 3. Tela de controle da tomadas de vapor.

2.1.2 Pontos de Controle

O controle do processo durante o abaixamento de carga passa pela definição dos limites de operação, e às tomadas de ações pré-estabelecidas. A tabela 1 apresenta os principais pontos de controle.

Tabela 1. Principais pontos de controle, limites e ações.

Ponto de Controle	Limite		Ações
	Min	Max	
Temperatura de Topo	-	350 °C	1 - Abrir o primeiro spray para temperatura $\geq 300^{\circ}\text{C}$;
			2 - Abrir o segundo 1 minuto depois da abertura do primeiro, caso a temperatura continue subindo;
			3 - Abrir o terceiro 1 minuto depois da abertura do segundo, caso a temperatura continue subindo;
			4 - Abrir o quarto 1 minuto depois da abertura do terceiro e reduzir a vazão, caso a temperatura continue subindo;
Hidrogênio	-	18%	1 - Reduzir a quantidade de água aspergida quando atingir $\geq 15\%$; 2 - Reduzir vazão quando atingir $\geq 16\%$; 3 - Retirar o gás da linha quando atingir $\geq 18\%$;
Oxigênio	-	0,40%	1 - Quando atingir $\geq 0,2\%$ reduzir a vazão;
			2 - Quando atingir $\geq 0,2\%$ e altura da sonda - 10m, retirar o gás da linha e abrir o bleeder;
			3 - Quando atingir $\geq 0,4\%$ reduzir a vazão, retirar o gás da linha e abrir o bleeder imediatamente;
CO2	-	10%	1 - Retirar o PCI
CO2 = CO	-	-	1 - Retirar o gás da linha
CO2 = 0,5 * CO	-	-	1 - Retirar o gás da linha
Temperatura de chama	1950°C	2050°C	1 - Atuar nos Cowpers
Temperatura de Sopros	800°C	1020°C	1 - Atuar nos Cowpers
Temperatura do gusa	1380°C	1420°	1 - Controle do nível termico
Silício	0,20%	2%	1 - Forno all charcoal
Esgotamento	-	-	1 - Objetivar 3 corridas durante o abaixamento de carga

Outro ponto de controle fundamental é a vazão de ar, pois, à medida que a carga vai aproximando das ventaneiras, a força de empuxo do ar soprado encontra menos resistência, podendo fluidizar a carga. Definir o momento para reduzir a vazão se faz necessário para o sucesso da operação. A figura 4 apresenta o planejamento da vazão em função da altura da carga.

ALTO-FORNO 2	Hora	Nível de carga Planejado	Vazão de Ar (Nm3/h)	Pressão Sopros (bar)	Contra-Pressão (bar)	Perda de Carga (bar)	Pressão da Carga (bar)
Stock line -> Goela	00:30	-1,5	40000	0,9	0,6	0,3	1,23
Cuba	01:00	-2,9	40000	0,9	0,6	0,3	1,05
	01:30	-4,3	40000	0,9	0,6	0,3	
	02:00	-5,5	40000	0,9	0,6	0,3	0,62
	02:30	-6,7	40000	0,9	0,6	0,3	
	03:00	-7,9	35000	0,6	0,45	0,15	
	03:30	-9,1	35000	0,6	0,45	0,15	
Ventre	04:00	-9,9	35000	0,6	0,45	0,15	0,31
	04:30	-10,7	35000	0,6	0,45	0,15	
	05:00	-11,5	30000	0,3	0,25	0,05	0,18
05:30	-12,3	30000	0,3	0,25	0,05		
Rampa	06:00	-12,9	30000	0,3	0,25	0,05	0,1
	06:30	-13,3	25000	0,3	0,25	0,05	
	07:00	-13,7	25000	0,3	0,25	0,05	
	07:30	-14,1	25000	0,3	0,25	0,05	0,03
	08:00	-14,7	25000	0,3	0,25	0,05	
Rampa -> Ventaneiras	08:30	-15,1	20000	0,3	0,25	0,05	0,03

Figura 4. Planejamento da vazão em função do nível de carga.

2.2 Vazamento da Salamandra

2.2.1 – Definição do posicionamento da salamandra

DESGASTE DO CADINHO

Objetivando definir o melhor ponto para drenagem da salamandra, a Aperam contou com a consultoria da Allied Mineral Technical Services, que apresentou o perfil de desgaste do refratário com base no modelo matemático, conforme apresentado na figura 5.

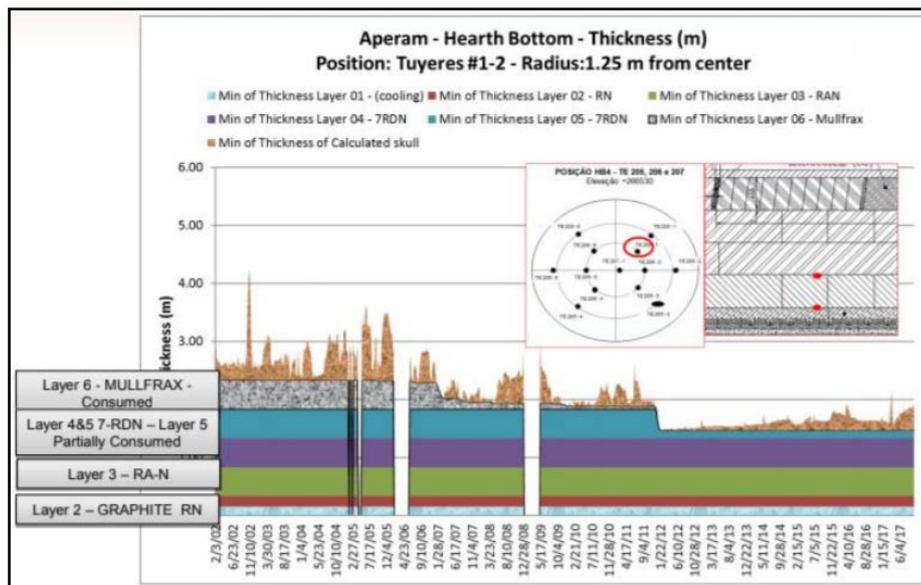


Figura 5. Perfil de desgaste do cadinho apresentado pelo modelo.

POSICIONAMENTO DO FURO

As posições dos furos da salamandra foram definidas com base no perfil de desgaste do cadinho. Nesta avaliação, definiu a posição radial do furo (mesma do último vazamento da salamandra - 2008), entre as ventaneiras n°4 e n°5. As posições estão apresentadas na figura 6.

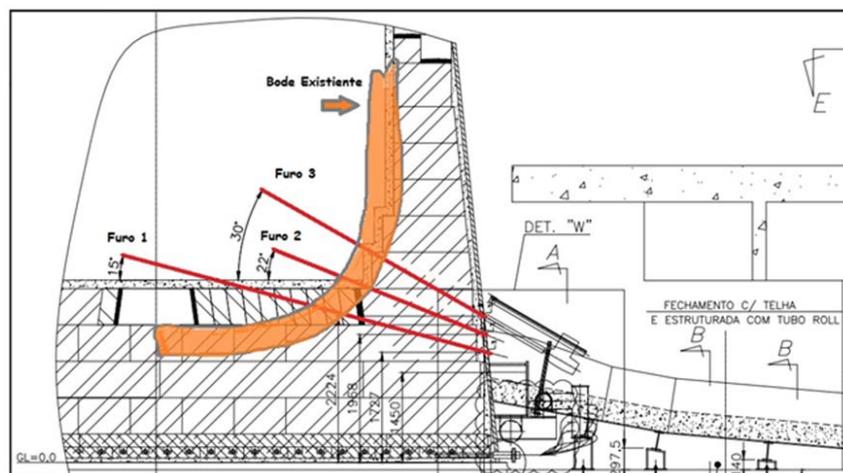


Figura 6. Posição e inclinação do furo da salamandra.

A posição do primeiro furo foi limitada pela camada 4 (camada a ser preservada), a qual não havia sofrido desgaste, com uma inclinação de 15° (mínimo para correr a salamandra). O segundo e terceiro furos são medidas de segurança, onde objetiva-se uma maior inclinação (22° furo 2, 30° furo 3) para garantir uma drenagem mínima da salamandra.

A figura 7 apresenta o comprimento de cada furo e a estimativa de gusa a ser drenado e o gusa sólido retido no cadinho “bode”.

Furo	Inclinação	Comprimento Furo Refratário (m)	Comprimento Furo Total (m)	Bode Líquido (t)	Bode Total (t)	Gusa Vazado (t)
1	15°	2,22	2,69	16	51	138
2	22°	1,84	2,23	46	98	108
3	30°	1,65	2,10	96	156	58

Figura 7. Comprimento do furo e estimativa de gusa drenado e retido.

2.2.2 – Adequação da área

Para drenagem da salamandra foi necessário construir uma calha metálica e uma caixa refratária (pocinho), permitindo reduzir a altura da queda do gusa sobre as baias de areia. Para calha metálica foram tijolos refratário SiAl 45 e para caixa refrataria foi projetado concreto para *gunning*. A figura 8 apresenta a imagem da calha e da caixa refrataria.



Figura 8. Calha metálica e caixa (pocinho) refrataria.

A área do piso zero foi preparada de modo a garantir a integridade de todos os equipamentos e estruturas existentes. Para isso, as colunas foram revestidas com manta térmica, amarradas com tela metálica e projetado massa para *gunning*, conforme apresentado na figura 9.



Figura 9. Preparação das colunas.

O layout completo da área de vazamento da salamandra está apresentado na figura 10.

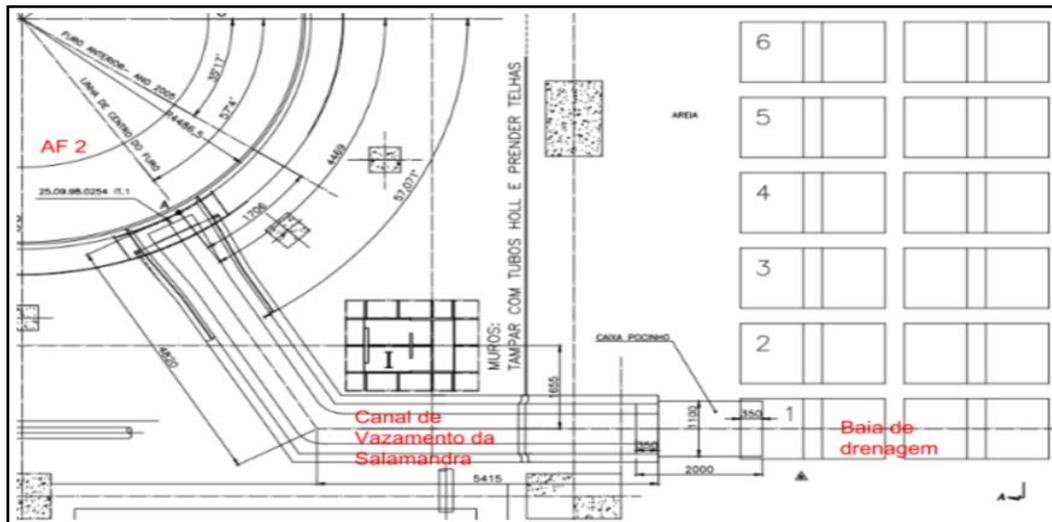


Figura 10. Layout da área para vazamento da salamandra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Abaixamento de carga

A interrupção do carregamento foi às 17:20 horas do dia 13/12/2017, com a vazão de ar de 40.000 Nm³/h e uma altura de sonda de -0,30 metros em relação ao *stock line*. Conforme apresentado na figura 11, a vazão de ar foi controlada em função da altura de sonda, permitindo a carga atingir – 15 metros sem fluidizar.

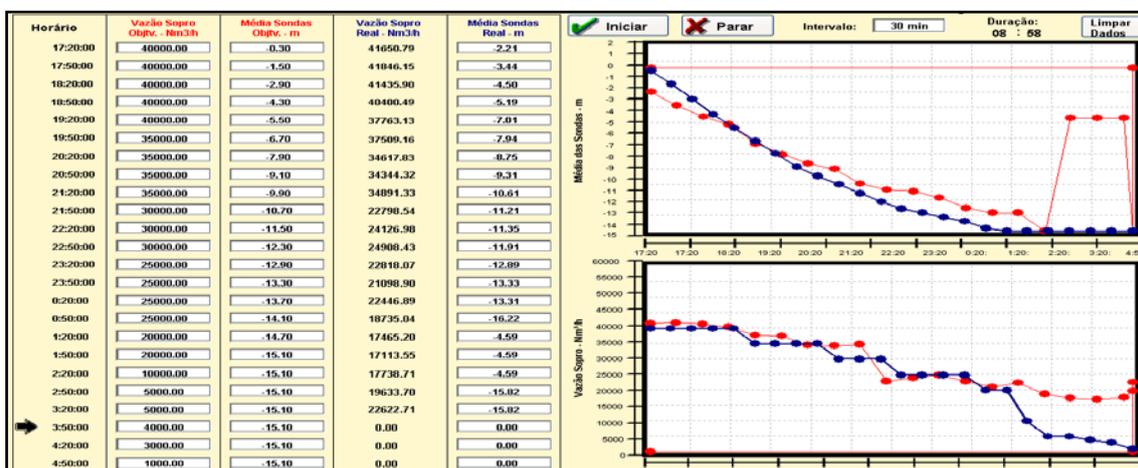


Figura 11. Tela de acompanhamento da vazão de ar e nível de sonda.

O controle da temperatura do topo é fundamental para preservação dos equipamentos existentes, porém o excesso de água aspergida para baixar a temperatura, pode aumentar a concentração de H₂ no ar, gerando uma mistura explosiva. Podemos observa nos gráficos da figura 12, que a temperatura do topo permaneceu na faixa de 250 a 300°C sem comprometer a concentração de H₂ no gás. Este resultado foi possível devido à logística de abertura dos *sprays* (abertura alternada), o tipo de *spray* utilizado e o controle da vazão de ar.

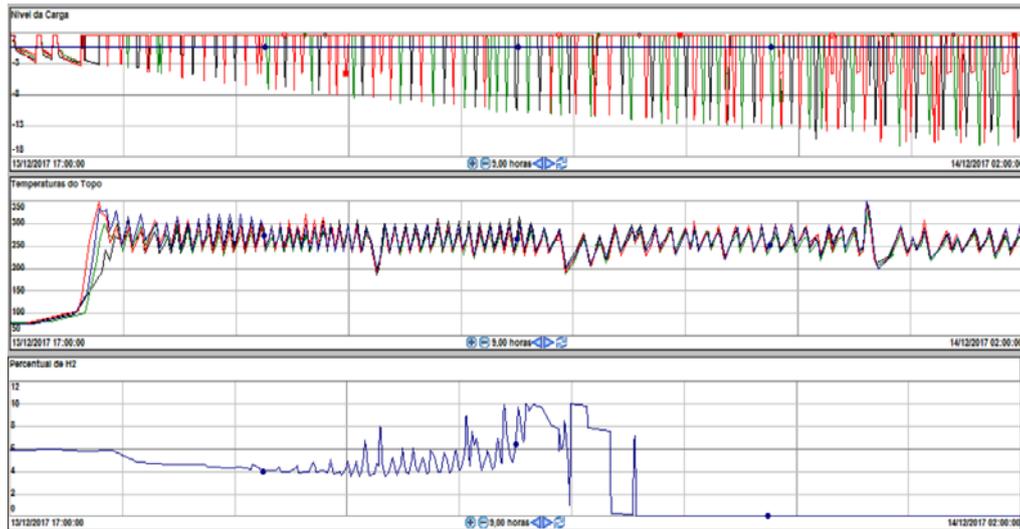


Figura 12. Gráfico do nível de carga, temperatura de topo e percentual de hidrogênio.

O controle da composição química do gás de topo permite avaliar o melhor momento para retirada do gás da linha, sem comprometer a estabilidade operacional e a segurança dos equipamentos que utilizam GAF (gás de Alto-Forno). De acordo com o planejamento, após o %O₂ atingir valores acima de 0,2% e a altura da sonda próximo dos -10 metros, às 21:31 do dia 13/12/2017 os *bleeders* foram abertos e o gás retirado da linha. A figura 13 apresenta a evolução da composição química do gás de topo em função do nível de carga.

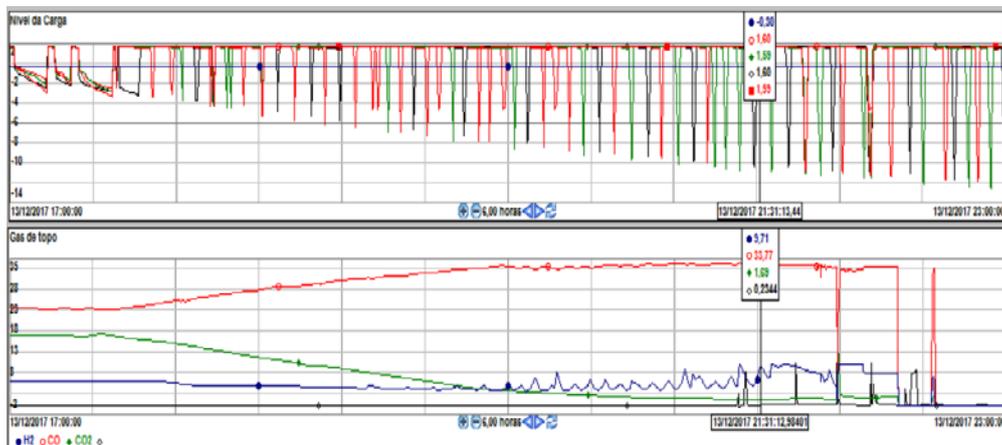


Figura 13. Gráfico do nível de carga, e composição do gás de topo.

De acordo com o planejamento, as tomadas de vapor foram abertas a medida que a carga atingi-se os níveis objetivos. Este procedimento permitiu diluir os gases gerados, evitando misturas explosivas, o que poderia provocar uma fluidização da carga, chaminé ou abertura espontânea dos *bleeders*. Foram instalados termopares próximos às tomadas de vapor para indicar a passagem do vapor para o interior do forno. A figura 14 apresenta a evolução do nível da carga e a indicação de abertura das tomadas de vapor (leitura do termopar).

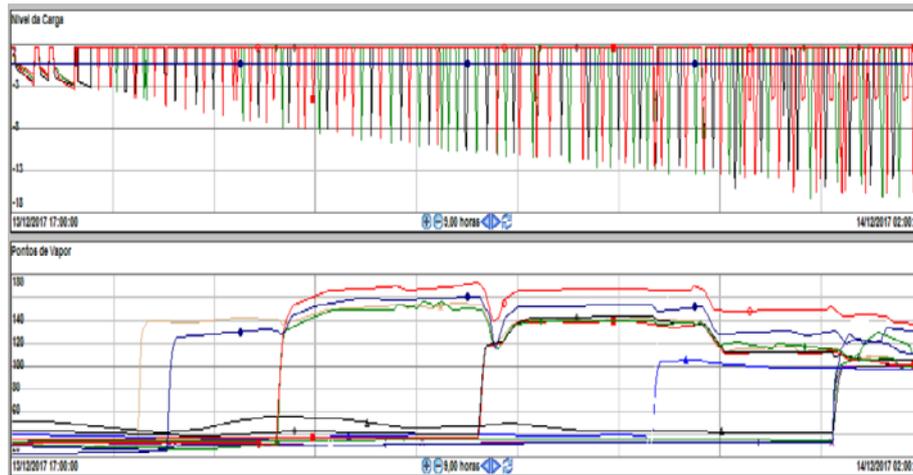


Figura 14. Gráfico do nível de carga, e dos termopares instalados nas tomadas de vapor.

3.1 – Vazamento da salamandra

O procedimento de vazamento da salamandra teve início após a abertura dos *bleeders*. A figura 15 apresenta o detalhamento de cada atividade realizada para o vazamento da salamandra, assim como o tempo de realização e o efetivo utilizado.

Atividades	Período	Duração	Efetivo
Montagem eletromecânica	23:30 - 01:45	2:15h	6
Aplicação de massa e socar	1:45 - 02:37	0:52h	6
Montagem perfuratriz	2:37 - 03:30	0:53h	6
Furação serra copo	3:30 - 05:10	1:40h	
Preparação corte oxigênio	5:10 - 05:40	0:30h	6
Vazamento com oxigênio	5:40 - 06:10	0:30h	
Vazamento da salamandra	6:10 - 09:30	2:40h	10
Total	23:30 - 09:30	10:00h	34

Figura 15. Principais atividades para vazamento da salamandra.

O processo de furação com serra copo foi controlado pelo comprimento do furo e a temperatura do refratário no furo. A figura 16 apresenta a curva da profundidade do furo em função da temperatura do refratário.

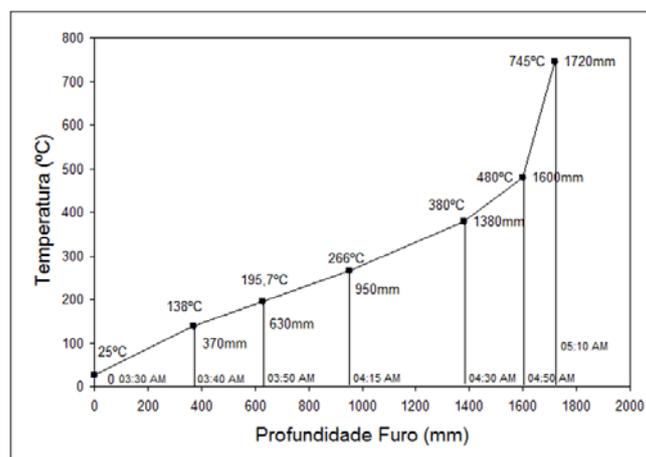


Figura 16. Curva da profundidade e temperatura do refratário.

Após a desmobilização da equipe de perfuração, a equipe operacional iniciou o corte com oxigênio, utilizando um total de 6 tubos de $\frac{3}{4}$ " e 1 de $\frac{1}{2}$ ". A figura 17 apresenta o momento após o vazamento da salamandra.



Figura 16. Imagem da capela e da calha da salamandra.

A salamandra foi vazada no primeiro furo, o volume total de material foi de 137 toneladas, para um cálculo inicial de 138 toneladas, restando dentro do cadinho aproximadamente 30 toneladas de material solidificado. A figura 17 apresenta uma visão panorâmica do preenchimento das broas de areia e a figura 18 apresenta detalhes das dimensões dos blocos de carbono e do gusa solidificado após abertura do "janelão" do cadinho.



Figura 17. Visão panorâmica do vazamento da salamandra.



Figura 18. Imagem dos blocos de carbono e gusa solidificado no interior do cadinho.

4 CONCLUSÃO

O planejamento, adequação e execução dos processos de abaixamento de carga foram assertivos. Permitindo a carga atingir o nível das ventaneiras (-15 metros do *stock line*) sem comprometer os equipamentos do topo, sem ocorrência de abertura espontânea dos *bleeders* e sem a fluidizar a carga.

A execução do plano de perfuração da salamandra e o sincronismo com o abaixamento de carga permitiu que em 10 horas a salamandra fosse drenada.

A definição da posição do furo da salamandra com base no modelo de desgaste do cadinho resultou em um volume de gusa drenado de 137 toneladas (volume teórico 138 toneladas), reduzindo o tempo de limpeza do cadinho após o *blow down*.

Todo planejamento e coordenação dos processos de abaixamento de carga e drenagem da salamandra foram realizados pelas equipes de Controle de Processo, Operação e Engenharia da Aperam.

REFERÊNCIAS

GEERDES, M., CHAIGNEAU, R., KURUNOV, I., LINGIARDI, O., RICKETTS, J. Modern Blast Furnace Ironmaking an introduction. Third Edition (2015).