

SEGUNDA FASE DE OPERAÇÃO DO ALTO FORNO#3 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO: BLOW IN, EVOLUÇÃO DE PRODUÇÃO E RESULTADOS INICIAIS*

Filipe Sathler¹
Ramiro da Conceição do Nascimento Junior²
Leonardo Passos Perdigão³
Maximiliano Aguiar Iwamura⁴
Estefan Campos Ribeiro⁵
Luiz Augusto Wasem⁶
Filipe Mansur⁷
Jorge Issamu Gushiken⁸

Resumo

O Alto Forno 3 da ArcelorMittal Tubarão (Volume interno: 3617 m³) esteve em operação do dia 21 de Julho de 2007 a 10 de Novembro de 2012 durante a sua primeira fase da primeira campanha. Após os devidos reparos e planejamento técnico-operacional, o procedimento de Blow in da segunda fase desta campanha foi realizado no dia 6 de Julho de 2014, apresentando também um processo bem sucedido de evolução de produção (ramp up) e resultados importantes com a redução do consumo de coque (coque rate) ao longo dos primeiros meses de operação.

Palavras-chave: Siderurgia; Alto Forno; Blow in; Ramp up; Coque Rate.

ARCELORMITTAL TUBARÃO BLAST FURNACE#3 SECOND PHASE OF OPERATION: BLOW IN PROCEDURE, RAMP UP PROCESS AND INITIAL RESULTS

Abstract

ArcelorMittal Blast Furnace#3 (Inner volume: 3617 m³) start-up occurred on 21st July 2007 and the 1st phase of this campaign was carried out until 10th November 2012 (Blowdown). After some repairs and appropriated technical/operational planning, the Blow in procedure of the 2nd phase of this campaign was realized on 6th July 2014, assuring a successful ramp up process, stability and remarkable results with lower coke consumption (coke rate) during these first months of operation.

Keywords: Steelmaking; Blast Furnace; Blow in; Ramp up; Coke Rate.

- ¹ Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ² Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Pós-Doutorado, Professor, Departamento de Metalurgia e Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil.
- ³ Engenharia Metalúrgica, Gerente da Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ⁴ Engenharia Industrial Mecânica, Especialista de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ⁵ Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ⁶ Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ⁷ Engenharia Metalúrgica, Pesquisador, Centro de Pesquisa ArcelorMittal (R&D), ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- ⁸ Engenharia Mecânica, Consultor de Processo de Altos Fornos, FERGUS, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Em meio às sazonalidades do mercado siderúrgico, os processos de Blowdown e Blow in são procedimentos necessários para as diversas campanhas dos altos fornos [1]. O Blow in de um alto forno (AF), após construção, reforma ou parada prolongada, não consiste apenas no início do sopro para o AF e, sim, em todo o processo de ignição do coque, evolução de sopro, consecução das primeiras corridas e o ramp up até condição nominal [2,3]. Logo, para a realização do Blow in, assim como para o Blowdown, é primordial um devido planejamento técnico bem fundamentado para assegurar a evolução do AF sem complicações operacionais, tais como perda de nível térmico, maior consumo de combustível ou resfriamento do AF [1,2].

Sendo assim, um dos principais fatores de sucesso de um Blow in é garantir adequada transferência de calor para aquecimento do coque acima e abaixo das ventaneiras, bem como da carga metálica e dos líquidos formados, permitindo menor dificuldade de evolução das primeiras corridas ao assegurar melhor qualidade, nível térmico e vazão de esgotamento [2,4,5]. Historicamente, não há muitos relatos, teorias e evolução tecnológica acerca do Blow in. No entanto, várias usinas efetuaram testes operacionais promovendo melhorias para evitar os problemas recorrentes quanto à evolução das primeiras corridas [2,4,5,6]. Para isso, as maiores mudanças foram na filosofia de definição dos parâmetros de Enchimento do AF em preparativo para o Blow in. Nos últimos anos, tem-se visado um maior carregamento de coque (blank) até a região do Ventre, com a correção da escória com fundentes somente acima do Ventre e o início de carregamento da carga metálica após início da Cuba, com rampa mais agressiva na evolução da relação M/C. Com isso, pode-se garantir maior aquecimento do Cadinho e de toda a carga do AF, evitando que haja a formação de líquidos de forma pré-matura. A razão dessas complicações operacionais em vários procedimentos passados pode se dar em virtude de que, normalmente, praticava-se iniciar a correção da escória logo acima das ventaneiras e o início do carregamento de carga metálica já na região do Ventre do AF, fatores esses que não permitiam otimizar a ocorrência da redução indireta da carga, ou seja, havia aumento da redução direta (consumo de energia) devido às isotermas do AF estarem baixas. [2,3,4,7,8]

Outros preparativos também são fundamentais para adequar as condições térmicas e químicas do AF no processo de Blow in, dentre eles:

- ✓ Aquecimento dos Regeneradores: garantir homogeneidade no encharque dos refratários (controle de retirada de umidade e expansão da sílica), assegurando aporte térmico (temperatura de sopro acima de 800°C e chama em torno de 2000°C) para otimizar a transferência de calor, ignição do coque (30 a 60min) e reações posteriores [2,4,5,9];
- ✓ Aquecimento do Cadinho: assegurar a retirada gradativa de água presente nos refratários sem degradação dos mesmos (4–7 dias de acordo com o fornecedor) e amenizar a perda térmica da carga ou líquidos quando em contato com o cadinho; normalmente utiliza-se o próprio sopro de ar quente direcionando o calor para cadinho por meio de instalação de tubos perfurados e conectados com os furos de gusa (FGs) [2,3,7,8,9];
- ✓ Ajuste de composição da escória: devido Coke Rate (CR) elevado e baixa produtividade, há aumento do %Si, o que demanda o carregamento de fundentes para aumentar %MgO, diluir a Al₂O₃ e SiO₂ da cinza do coque e aumentar a basicidade (porém, 20% menor do que operação normal para absorver possíveis desvios de %Si X Basicidade), garantindo menor viscosidade (cerca de 2,0 P) e temperatura de líquidos baixa (1350 a 1400°C) [3,6,7];

Portanto, este trabalho demonstra a aplicação dos vários conceitos e melhorias apresentados de maneira a registrar um plano de Blow in bem fundamentado com a devida execução e para servir de comparação para procedimentos futuros.

2 METODOLOGIA

O trabalho visa apresentar a descrição e aplicação dos principais conceitos e procedimentos de realização do Blow in de altos fornos, mostrando os resultados e discussões obtidos no procedimento de Blow in do Alto Forno N°3 (AF3) da ArcelorMittal Tubarão.

Sendo assim, o procedimento metodológico deste trabalho contempla basicamente:

- a) Levantamento de informações e referências bibliográficas para embasamento;
- b) Descrição da realização dos preparativos e procedimento de Blow in;
- c) Apresentação dos resultados obtidos e respectivas discussões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Alto Forno Nº3 (AF3) da ArcelorMittal Tubarão teve o seu start-up em 21/07/2007, permitindo uma capacidade anual de 2,8 Milhões de toneladas de gusa por ano. Os seus principais parâmetros e equipamentos estão citados na Figura 1.

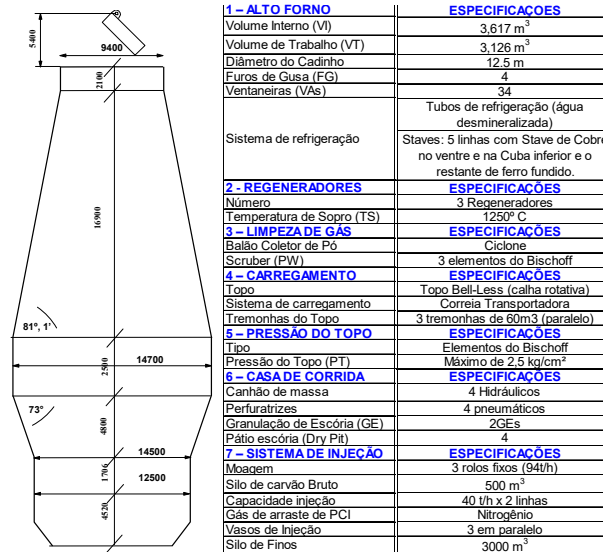


Figura 1. Principais especificações e equipamentos do AF3 da ArcelorMittal Tubarão.

No dia 10/11/2012 ocorreu o Blowdown do AF3 após produção acumulada de 13,7 milhões de toneladas na 1ª fase desta campanha. Meses depois, houve ligeira melhora do mercado e então se iniciou o planejamento para o Blow in da 2ª fase do AF3, realizado em 06/07/2014 às 04h20. Além da preparação de pessoal e equipamentos (comissionamento), o planejamento técnico também foi primordial para a execução do Blow in e o posterior ramp up.

A Tabela 1 resume o cronograma de realização dos procedimentos preparativos para o Blow in do AF3.

Tabela 1. Cronograma das principais atividades pré-Blow in do AF3.

I	ETAPAS	Duração	Início	Término
1	Aquecimento Regeneradores	28 dias	24/Maio	22/Junho
2	Aquecimento Tubulão Ar Quente	4 dias	18/Junho	22/Junho
3	Aquecimento Anel de Vento	4 dias	18/Junho	22/Junho
4	Secagem Alto Forno	3 dias	29/Junho	01/Julho
5	Teste de Estanqueidade	4,5 dias	30/Junho	04/Julho
6	Enchimento	2 dias	04/Julho	05/Julho

3.1 Aquecimento dos Regeneradores, Tubulão de Ar Quente e Anel de Vento

No dia 24/05 (43 dias antes do Blow in), iniciou-se o aquecimento dos Regeneradores por meio de equipamentos e sistemas de controle específicos (utilização de gás natural). Efetuou-se a mesma curva de aquecimento para os três regeneradores, com duração total de 28 dias, conforme representada na Figura 2.

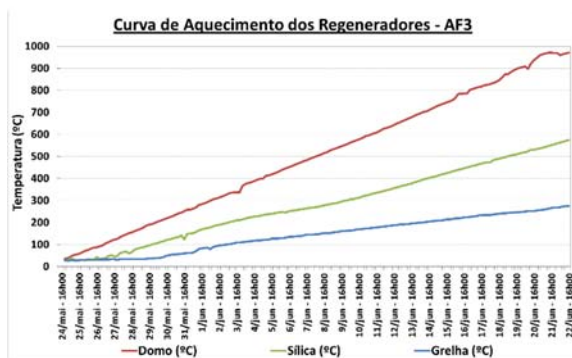


Figura 2. Curva real de aquecimento dos Regeneradores do AF3.

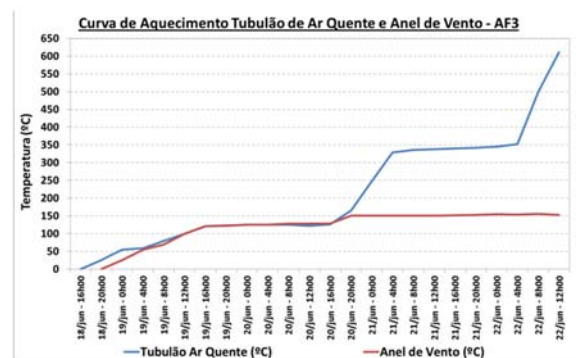


Figura 3. Curva real de aquecimento do Tubulão de Ar Quente e Anel de Vento do AF3.

Em paralelo, no dia 18/06 (18 dias antes do Blow in) também foi iniciado o aquecimento do Tubulão de Ar Quente e aquecimento do Anel de Vento, com duração total de 90h (Figura 3).

3.2 Aquecimento do Cadinho e Teste Pressão

Após o comissionamento e montagem dos conjuntos, deu-se início ao aquecimento do cadinho no dia 29/06 (7 dias antes do Blow in), com duração de total de 72h.

Previamente, foram instalados diversos termopares específicos para acompanhamento da secagem (shotcrete, furos de gusa, cadinho), além das temperaturas de sopro e topo existentes. Alguns itens são essenciais e foram devidamente checados, tais como:

- ✓ Comunicação e funcionamento do soprador (controle de pressão e vazão);
- ✓ Furos de gusa e bleeders do topo abertos;
- ✓ Bombas de staves desligadas para não causar distúrbios à secagem;
- ✓ Bloqueio da linha de vapor/sprays do topo durante a secagem para evitar entrada de água no AF, porém, controlando a Temperatura do Gás de Topo (projeto: TGT<350°C).

Utilizou-se uma estrutura de tubulações no cadinho para captar o ar soprado (orifícios na parte inferior das tubulações) e direcionar para cada FG por meio de tubos, conforme representado na Figura 4. Com isso, há maior eficiência do aquecimento do cadinho e FGs.

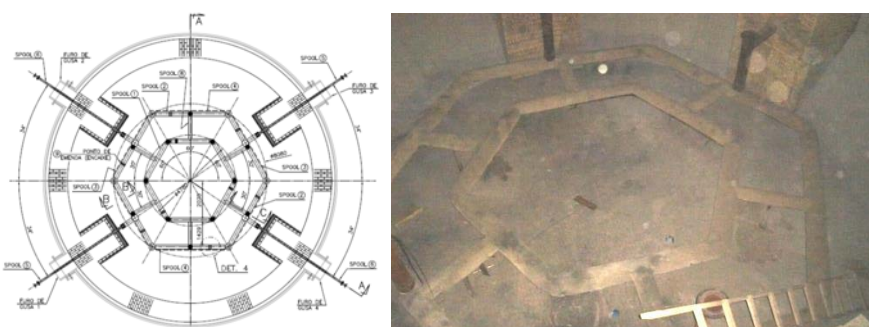


Figura 4. Dispositivo instalado para secagem do cadinho e furos de gusa do AF3.

O aquecimento foi executado como programado, com os termopares mostrando temperaturas superiores a 100°C (secagem), conforme Figura 5.

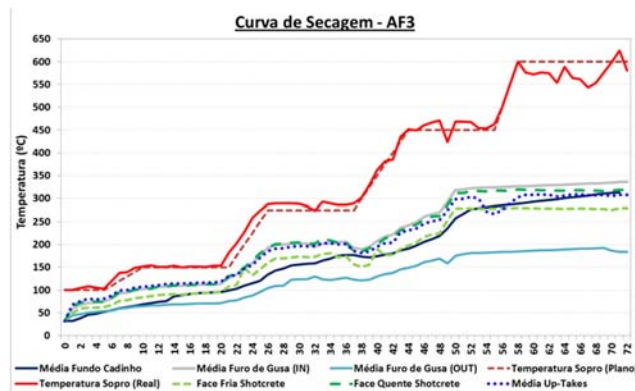


Figura 5. Curva real de Secagem do AF3

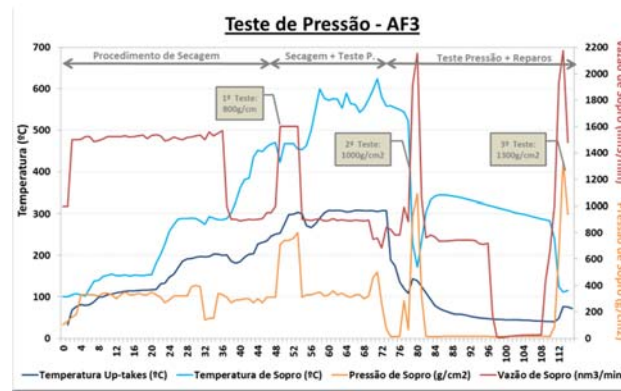


Figura 6. Evolução do teste de pressão do AF3

Como planejado, após 48h do início da Secagem, em paralelo, foram realizados os Testes de Pressão do AF3 para identificação e reparo de vazamentos, apresentando duração de 64h (112h total), conforme Figura 6.

3.3 Abastecimento dos Silos e Enchimento do AF3

Mediante cronograma específico, os silos do Carregamento foram primeiramente forrados com material do pátio até 30% dos níveis de silo (evitar degradação excessiva), complementando o restante com material de produção. Em seguida, foi realizado o descarte dos 30% do pátio para o sistema de finos, complementando com material de produção (amenizar entrada/geração de finos no enchimento).

O plano de enchimento do AF3 foi devidamente preparado. Mediante as premissas técnicas, referências bibliográficas, benchmarking, experiências anteriores e nas medidas específicas do AF3, definiu-se a rampa de Minério/Coque (M/C) para cada região estratificada do AF3, conforme Figura 7.

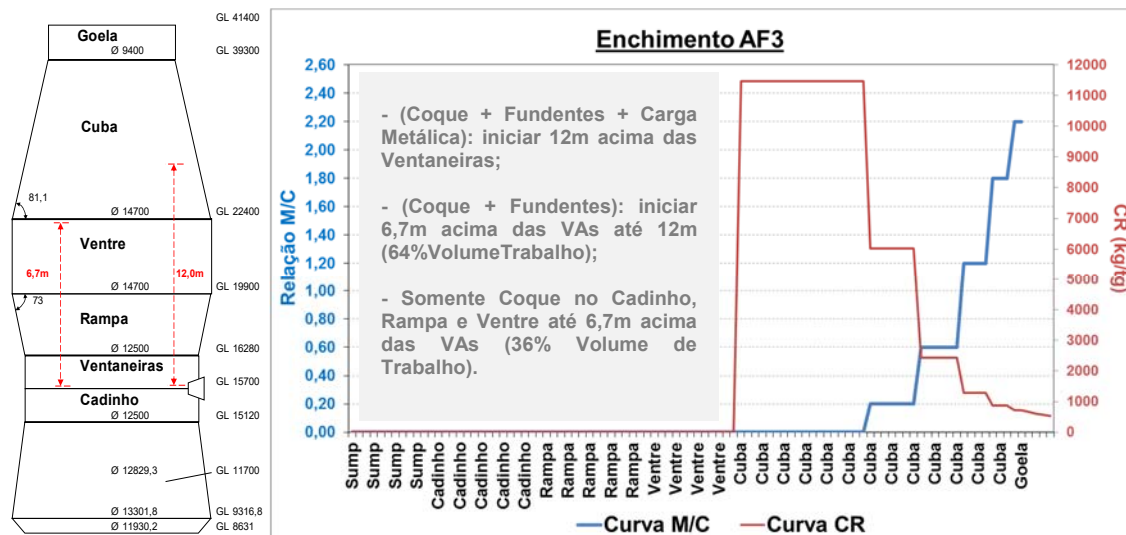


Figura 7. Desenho esquemático do AF3 e determinação das curvas de CR (M/C) para cada região.

Baseando-se nas características das matérias-primas do AF3, algumas premissas também foram definidas, tais como:

- ✓ Leito de Fusão: 45% Sinter + 45% Pelota + 10% MMG;
- ✓ Base de Coque: 22,0 t/carga (25,95cm no Ventre e 63,43cm na Goela);
- ✓ Malhas de Coque com 45mm para enchimento do AF3 (normal 35mm);
- ✓ %Si visado: 5,0%;
- ✓ Qualidade da Escória Visada:
 - Basicidade Binária (B2): 0,90 (demanda menor energia para fusão);
 - %Al₂O₃: menor que 13,0% (demanda menor energia para fusão);
 - %MgO: 8,0 a 11,0% (diminui a viscosidade da escória).

Para adequar a qualidade da escória formada nas primeiras corridas, há a necessidade de carregar fundentes. Para isso, fez-se uma análise comparativa de diferentes características de alguns fundentes disponíveis, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Comparação das características de diferentes Mix de fundentes para o Enchimento

i	Mix	T _{líquidos esc.}	Viscosidade	Escória/Carga	B4	Entalpia de fusão
A)	Esc.LD + Qtz	~1400°C	2,0 P a 4,5 P	7,2 t/carga	0,88	502,18 Mcal
B)	Calc. Dol. (MG) + Qtz	~1600°C	1,3 P a 2,2 P	5,4 t/carga	1,21	542,31 Mcal
C)	Calc. Dol. (ES) + Qtz	~1450°C	1,2 P a 2,8 P	4,9 t/carga	1,07	530,78 Mcal
D)	Esc. LD + Olivina	~1450°C	1,4 P a 2,7 P	6,6 t/carga	1,03	531,53 Mcal
E)	Esc. LD + Olivina + Qtz	~1400°C	1,6 P a 3,2 P	7,3 t/carga	1,00	519,28 Mcal
F)	Esc. LD + Calc. Dol. (ES) + Qtz	~1400°C	1,5 P a 3,5 P	5,8 t/carga	1,00	517,35 Mcal

Deste modo, a opção "F" (Escória LD + Calcário Dolomítico ES + Quartzo) constituiu a opção mais adequada uma vez que garante temperatura de líquidos e entalpia de fusão relativamente baixas, com adequados viscosidade e volume de escória, além disso, são fundentes com maior facilidade para obtenção.

Portanto, aplicando a curva de M/C corrigida com os devidos fundentes, a qualidade química calculada para cada região está representada na Figura 8.

Camada	Area	M/C	%Si visado	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO	B2	CR (kg/tg)	SR (kg/tg)
11	Goela	2,20	5,00	39,95	11,62	36,12	6,58	0,90	712	299
10	Cuba 6	1,80	5,00	39,74	11,88	35,50	7,37	0,89	869	333
9	Cuba 5	1,20	5,00	39,81	11,67	35,40	8,41	0,89	1278	474
8	Cuba 4	0,60	5,00	39,42	11,28	35,60	9,92	0,90	2421	879
7	Cuba 3	0,20	5,00	39,65	11,53	35,13	10,40	0,89	6028	2048
6	Cuba 2	0,00	5,00	39,70	11,74	34,88	10,93	0,88	11464	6985
5	Cuba 1	0,00	5,00	39,70	11,74	34,88	10,93	0,88	11464	6985
4	Ventre	0,00	5,00	39,70	11,74	34,88	10,93	0,88	-	-
3	Rampa	0,00	5,00	39,70	11,74	34,88	10,93	0,88	-	-
2	Cadinho	0,00	5,00	59,43	28,19	5,13	1,39	0,09	-	-
1	Sump	0,00	5,00	59,43	28,19	5,13	1,39	0,09	-	-
Média Total		0,23	5,00	40,95	13,51	32,29	9,41	0,82	4233,2	1424,6

Figura 8. Qualidade química calculada para o Enchimento de cada região definida para o AF3.

A Figura 9 mostra a quantidade calculada de cada material em cada região, bem como o número calculado de cargas, %Coque (%volume de trabalho) e CR de acordo com o M/C visado. Nota-se que a correção da escória com fundentes só se inicia após o ventre (após 36% do volume de trabalho ocupado por coque) para evitar formação de escória semifundida (nível térmico baixo). Já o início das cargas metálicas se dá somente após 64% do volume de trabalho ocupado por coque (adequado aquecimento do cadinho, do coque e formação de líquidos).

Camada		CDQ	CSOL	SINTER	PEAF	MMG	QUARTZO	Escória LD	Dolomita	M/C	CR	%Vol. Trabalho	Nº Cargas	
11	Goela	Carga (t)	0	22,0	21,8	21,8	4,8	3,8	0,0	1,5	2,20	712	100%	2
	Total (t)	0	44,0	43,6	43,6	9,7	7,6	0,0	3,0					
10	Cuba 6	Carga (t)	0	22,0	17,8	17,8	4,0	2,2	0,0	2,0	1,80	869	96%	3
	Total (t)	0	66,0	53,5	53,5	11,9	9,6	0,0	6,0					
9	Cuba 5	Carga (t)	0	22,0	11,9	11,9	2,6	2,6	1,2	2,5	1,20	1278	90%	4
	Total (t)	0	88,0	47,5	47,5	10,6	10,4	4,8	10,0					
8	Cuba 4	Carga (t)	0	22,0	5,9	5,9	1,3	2,0	2,3	3,3	0,60	2421	84%	6
	Total (t)	0	132,0	35,6	35,6	7,9	12,0	13,8	19,8					
7	Cuba 3	Carga (t)	0	22,0	2,0	2,0	0,4	1,5	3,0	3,3	0,20	6028	74%	7
	Total (t)	0	154,0	13,9	13,9	3,1	10,5	21,0	23,1					
6	Cuba 2	Carga (t)	0	22,0	0,0	0,0	0,0	2,6	7,5	7,5	0,00	11464	64%	8
	Total (t)	0	176,0	0,0	0,0	0,0	20,8	60,0	60,8					
5	Cuba 1	Carga (t)	0	22,0	0,0	0,0	0,0	2,6	7,5	7,5	0,00	11464	52%	10
	Total (t)	0	220,0	0,0	0,0	0,0	26,0	75,0	76,0					
4	Ventre	Carga (t)	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-	36%	12
	Total (t)	264	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
3	Rampa	Carga (t)	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-	22%	17
	Total (t)	374	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
2	Cadinho	Carga (t)	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-		15
	Total (t)	336	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	Sump	Carga (t)	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	-		10
	Total (t)	220	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Total (t)			1188	880,0	194,0	194,0	43,1	96,9	174,6	199				

Figura 9. Detalhamento dos parâmetros de enchimento calculados para cada região do AF3.

Sabendo-se o volume de líquidos formados pelas cargas, considerou-se uma altura máxima de nível de líquidos no cadinho à 1,5m abaixo das Ventaneiras (limite de segurança), a fim de se determinar as aberturas dos FGs e primeiras corridas. O volume máximo de líquidos calculado (1/3 do volume máximo possível) é cerca de 210 m³ e o Sump compõe cerca de 108m³ de líquidos, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Cálculo do volume de líquidos máximo no Cadinho e Sump

Nível de Líquidos Máximo (1,5m abaixo das Ventaneiras)		
Área	Altura (m)	Volume (m³)
Cadinho	2,5	303,9
Sump	2,4	279,6
Sump	0,7	45,8
Volume Total 1,5m abaixo VAs		629
Máx. Volume de Líquidos (1/3 Total)		210
Líquidos no Sump (1/3 Sump)		108

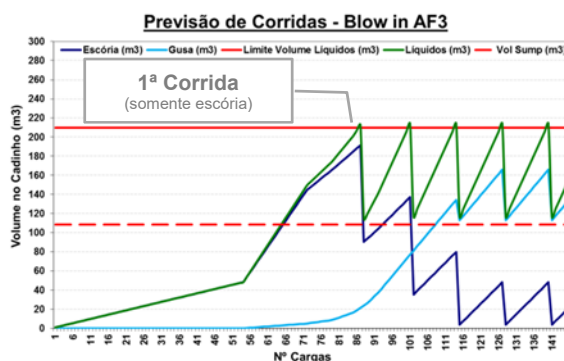


Figura 10. Previsão de corridas X Nº Cargas

Sendo assim, o volume máximo de líquidos é atingido após a previsão de consumo de 87 cargas e, por isso, deve-se abrir o furo de gusa para a realização da 1ª corrida. Nas primeiras duas corridas têm-se corrida de escória e a corrida de gusa com escória se inicia somente na 3ª corrida (volume de gusa maior que o volume do Sump), conforme demonstrado na Figura 10.

No entanto, como o AF3 estava vazio, parte das cargas de coque constituirá o coque necessário para formar o Homem Morto do Cadinho (não são consumidas). Na Tabela 4 e Tabela 5, tem-se algumas considerações e cálculos que mostram uma demanda de 31 cargas para este fim. Logo, ao descontar estas 31 cargas do total de 87 cargas (para a 1ª corrida), tem-se 56 cargas a serem consumidas (1233 t de coque), demandando um volume total de ar soprado acumulado em 3.452.923 nm³ até a 1ª corrida.

Tabela 4. Cálculo do volume de coque para formação do Cadinho e Homem Morto

CÁLCULO DO VOLUME DE COQUE NO CADINHO E HOMEM MORTO	
1) Diâmetro Cadinho (m)	12,5
2) Volume Cadinho (m³)	816,4
3) Densidade do Coque (t/m³)	0,50
4) Ângulo Coque (º)	30
5) Base de Coque (t/carga)	22
6) Comprimento Raceway (m)	1,5
7) Altura do Homem Morto (m)	8,2
8) Volume Homem Morto (m³)	194,4
9) Taxa de Compressão do Homem Morto (%)	25,7
10) Massa do Homem Morto (t)	130,8
11) Total de Coque no Cadinho (t)	550,0
12) Total de Coque no Cadinho + Homem Morto (t)	680,8
13) Número de Cargas pra formar Cadinho + Homem Morto (t)	31

Tabela 5. Cálculo do volume de ar soprado total necessário para consumir as cargas até a 1ª corrida

CÁLCULO DO VOLUME DE AR SOPRADO ATÉ A 1ª CORRIDA	
1) Nº cargas até 1ª Corrida (Volume Líquidos ≥ 210m³)	87
2) Total de Coque carregado até 1ª Corrida (t)	1914,0
3) Número de Cargas pra formar Cadinho + Homem Morto (t)	31
4) Nº cargas consumidas até 1ª Corrida (t)	56
5) Total de Coque a ser consumido até 1ª Corrida (t)	1233,0
6) Ar específico para consumir 1t Coque (Nm³/min / t Coque)	2800
7) Volume Acumulado até 1ª Corrida (nm³)	3.452.923

Então, tem-se que:

* 680,8 t de coque (31 cargas) permanecerão formando o Cadinho e Homem Morto;

* Serão realmente consumidas 1233t de Coque (56 cargas) até 1ª Corrida, com um volume total de ar de soprado acumulado de 3.452.923 nm³

Com a curva de elevação de VS estabelecida, tem-se uma previsão das primeiras corridas, conforme Figura 11. Sendo assim, o volume de ar acumulado em 3.452.923 nm³ é alcançado 24h após o Blow in, representando o momento da 1ª corrida (somente escória).

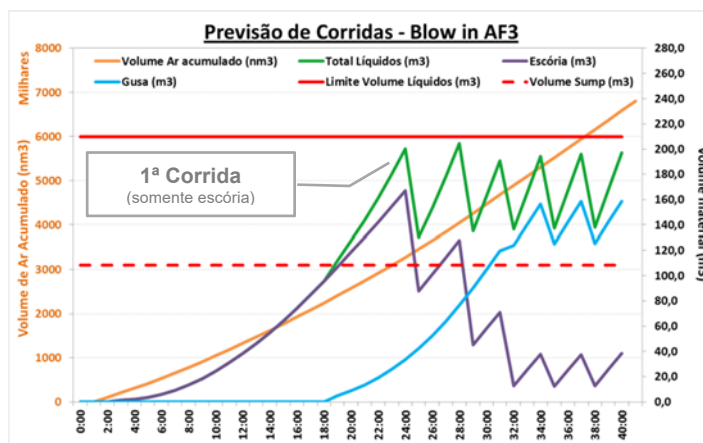


Figura 11. Previsão de corridas de acordo com o volume de líquidos gerados pelo consumo das cargas durante a elevação do volume ar soprado pelas ventaneiras.

Logo, o enchimento do AF3 se iniciou no dia 04/07 às 05h17 (2 dias antes do Blow in). Ocorreu maior carregamento de fundentes na região entre “Cuba 1” e “Cuba 3”, porém, a qualidade ponderada global carregada foi próximo ao visado, 40,8%SiO₂, 34,0%CaO, 12,1%Al₂O₃, 9,9%MgO e B2 igual 0,92, conforme Figura 12.

Camada	Area	M/C	%Si visado	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO	B2	CR (kg/tg)	SR (kg/tg)	
11	Goela	2,23	5,00	40,86	11,35	35,68	6,48	0,87	701	303	
10	Cuba 6	1,67	5,00	40,66	11,36	35,42	7,48	0,87	930	378	
9	Cuba 5	0,56	5,00	39,98	11,34	35,03	9,88	0,88	2550	912	
8	Cuba 4	0,37	5,00	38,04	11,33	36,79	10,37	0,97	3770	1348	
7	Cuba 3	0,05	5,00	35,97	8,05	41,41	12,66	1,15	9573	5544	
6	Cuba 2	0,00	5,00	35,80	7,75	41,81	12,86	1,17	12318	7557	
5	Cuba 1	0,00	5,00	35,74	7,77	41,84	12,87	1,17	12373	7557	
4	Ventre	0,00	5,00	40,81	12,91	33,25	10,22	0,81	36716	9949	
3	Rampa	0,00	5,00	59,43	28,19	5,13	1,39	0,09	-	-	
2	Cadinho	0,00	5,00	59,43	28,19	5,13	1,39	0,09	-	-	
1	Sump	0,00	5,00	59,43	28,19	5,13	1,39	0,09	-	-	
Média Total			0,20	5,00	40,83	12,14	34,03	9,90	0,92	3159,8	1642,2

Figura 12. Qualidade química calculada de acordo com o enchimento real do AF3.

Um fator importante também é de que foi possível carregar coque CDQ (umidade abaixo de 1%) até a região do Ventre como planejado, garantindo menor perda de energia durante o Blow in.

3.4 Preparativos pré-Blow in

Algumas premissas foram essenciais para garantir a adequada realização do Blow in. Dentre os vários preparativos efetuados, tem-se:

- ✓ Plano de segurança (riscos, isolamentos, treinamento, identificação, etc);
- ✓ Divulgação e treinamento dos planos técnicos para todas equipes envolvidas;
- ✓ Todos equipamentos testados e comissionados;
- ✓ Alinhamento dos suprimentos da Utilidades (ar, O₂, N₂, água, vapor, GN);
- ✓ Abastecimento de todos insumos e ferramental da Casa de Corrida;
- ✓ Preparação dos canais (limpos e aquecidos) e Dry Pits (limpos e secos);
- ✓ Adequada montagem de conjuntos de insuflação (com redutores cerâmicos);
- ✓ Funcionamento dos analisadores de gás do topo;
- ✓ Comunicação contínua entre as áreas.

3.5 Procedimento do Blow in

Após a realização de todos os preparativos, o procedimento do Blow in propriamente dito se iniciou no dia 06/07/2014 às 04h20.

O AF3 partiu com os 4 FGs abertos (queimadores a frente para amenizar a geração de CO na área), Bleeders e ocular abertos, direcionando o gás gerado para os bleeders e torre de gás (limitada à VS de 2500 nm³/min). Constatou-se a ignição de coque em todas as ventaneiras às 5h41 (1h21 após Blow in). Logo, iniciou-se a medição de %O₂ no topo. Às 6h23 (2h03 após Blow

in) já foi possível alcançar 0,93%O₂ no topo, permitindo o fechamento das Bleeders (maior controle da PT). Com isso, o gás de topo passou a ser totalmente queimado na torre de gás e também aumentou-se o sopro nos FGs (maior aquecimento do cadinho e FGs).

Às 6h34 (2h14 pós Blow in) se iniciou a descida de carga e, 1h depois, o AF3 foi conectado à rede de gás da usina devido aumento do PCI do gás (1164 kcal/nm³).

Deste modo, foi possível elevar o VS, realizando também a retirada dos redutores cerâmicos para manter velocidade de ventaneira entre 190 a 220m/s.

Acompanhou-se a condição de sopro dos FGs durante todo o processo e de acordo com o aumento do sopro de escória foi sendo realizado o fechamento progressivo dos FGs para evitar entupimento, concluindo às 23h43 (19h23 após o Blow in), conforme já estava previsto no cálculo (19h após o blow in o volume de líquidos está acima do volume do sump).

Conforme programado, efetuou-se uma “abertura teste” do FG3 às 00h05 do dia 07/07 (VS acumulado em 3.100.000 nm³) para checar o volume de líquidos, mas como estava apenas com sopro de escória, o FG3 foi novamente fechado.

Após 30 cargas com CR 712kg/tg (1 coluna de carga), reduziu-se o CR para 653 kg/tg (18 cargas) mediante condição das Ventaneiras e TGT.

Às 03h09 (aprox. 23h após o Blow in), após VS acumulado em 3.500.000 nm³, foi realizada a abertura do FG3 e, como esperado, correu somente escória e com bom nível térmico durante os 24min de corrida (vazão baixa).

Com a estabilização da descida de carga, controle da TGT e confirmação do nível térmico, foi possível assegurar o processo de elevação de VS.

Às 05h32 (25h após blow in), foi realizada a abertura da 2ª corrida do FG3, com drenagem somente de escória conforme previsto e bom nível térmico (corrida de 1h), permitindo redução do CR de 653kg/tg para 603 kg/tg (26 cargas).

Efetuu-se a 3ª corrida às 08h24 (28h após blow in), correndo gusa para o torpedo com bom nível térmico (1453°C) e escória para o dry pit. Na corrida seguinte já foi possível granular escória e reduzir o CR para 560 kg/tg (36h após Blow in).

A Tabela 6 mostra os resultados das primeiras corridas. Nota-se que, assim como o nível térmico manteve-se elevado desde o início, o %Si da 1ª corrida (6,9%) ficou mais alto do que o calculado (5%), por isso que foi visada B2 de 0,90 (real 1,12) a fim de absorver possíveis desvios de %Si e evitar que a B2 atingisse valores acima de 1,20 (necessitaria maior energia para fusão). Mesmo assim, em menos de 24h de corrida já foi possível obter %Si menor do que 4%.

Tabela 6. Dados individuais das primeiras corridas após o Blow in do AF3.

Nº Corrida	FG	Início Corrida	Tempo (min)	TG (°C)	[%C]	[%Si]	[%Mn]	[%P]	[%S]	(%FeO)	(%SiO2)	(%Al2O3)	(%CaO)	(%MgO)	B2	B4
1ª	3	07/07 03:10	25	1450	4,0	6,9	0,73	0,33	0,01	0,18	38,4	10,3	42,8	9,1	1,12	1,07
2ª	3	07/07 05:33	59	1450	4,0	6,9	0,73	0,33	0,01	0,16	37,7	10,2	42,6	8,9	1,13	1,08
3ª	3	07/07 08:25	110	1453	4,0	6,9	0,73	0,33	0,01	3,09	38,6	10,0	39,6	10,8	1,03	1,04
4ª	3	07/07 11:40	125	1509	4,7	5,2	0,53	0,27	0,01	0,84	39,5	12,3	39,1	9,3	0,99	0,93
5ª	3	07/07 14:45	250	1527	4,8	4,1	0,42	0,17	0,02	0,40	39,3	12,3	39,1	10,3	1,00	0,96
6ª	3	07/07 19:34	184	1513	4,9	3,8	0,39	0,14	0,02	0,76	41,1	12,1	37,8	8,7	0,92	0,87
7ª	3	07/07 23:08	91	1518	4,9	3,7	0,37	0,14	0,02	0,25	42,1	12,2	38,6	8,6	0,92	0,87
8ª	3	08/07 01:12	320	1525	4,9	3,1	0,33	0,15	0,02	0,40	43,8	12,2	37,8	8,1	0,86	0,82
9ª	1	08/07 07:10	15	1520	4,8	2,8	0,33	0,14	0,03	1,30	42,3	12,3	38,7	7,7	0,92	0,85
10ª	3	08/07 07:35	180	1525	4,9	2,9	0,33	0,14	0,02	1,30	42,3	12,3	38,7	7,7	0,92	0,85
11ª	1	08/07 10:25	170	1512	4,8	2,8	0,34	0,11	0,02	0,27	42,9	11,5	39,5	7,6	0,92	0,87

Na medida em que as corridas foram evoluindo em nível térmico e esgotamento, procedeu-se a elevação dos parâmetros de processo do AF3, como mostrado na Figura 13.

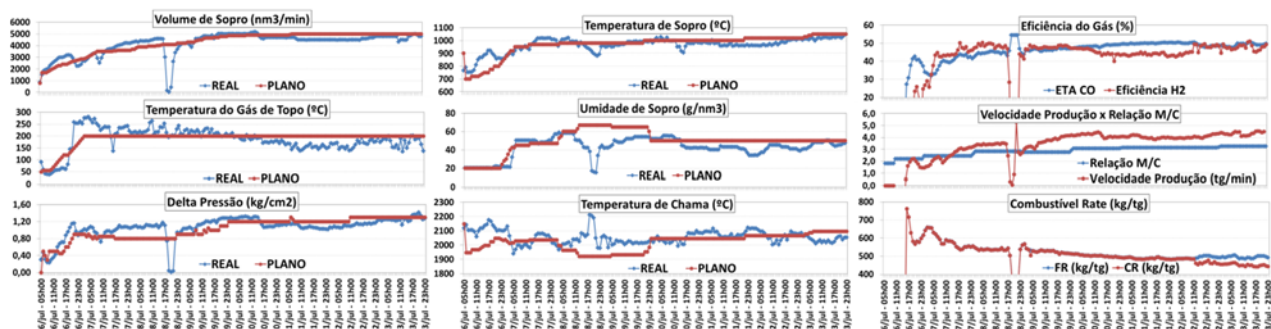


Figura 13. Dados de processo durante evolução do Blow in do AF3.

A evolução dos parâmetros de processo foi melhor do que o plano estabelecido. Porém, nas primeiras horas de operação ocorreram algumas reduções de VS para controle de TGT elevada (mesmo com sprays acionados) e para controle de esgotamento. Além disso, no dia 08/07 ocorreu parada emergencial do AF3 de 18h37 às 21h16, devido falha elétrica com queda das bombas de refrigeração.

Outro fator negativo foi a queda da TS dos HSs a partir do dia 11/07 (TS<980°C), retardando o início do PCI. Logo, reduziu-se a umidade de sopro para controle da TTC e, no dia 12/07 (6 dias após blow in), iniciou-se injeção de carvão, permitindo maior poder calorífico do gás de topo e maior aporte térmico para os HSs.

Nota-se também a evolução da eficiência do gás e velocidade de produção, bem como a redução de CR e FR mediante o nível térmico e esgotamento adequados, permitindo também excelente ramp up operacional.

3.6 Ramp up após Blow in

Após o Blow in, o AF3 apresentou adequada rampa de evolução operacional, com produção acima do plano estabelecido (Figura 14), CR e %Si abaixo do planejado no primeiro mês de operação (Figura 15). Em 5 dias após o Blow in, já foi possível obter valores abaixo de 1,0%Si. Mesmo com a limitação de TS (encharque HSs), foi possível iniciar injeção de carvão (PCI) no dia 12/07 (6 dias após o Blow in), permitindo também aumentar o poder calorífico do gás e aumentar aporte térmico dos HSs (maior TS).

No dia 14/07 ocorreu parada emergencial de 12h devido falha na correia principal (CTP), por isso, tem-se o desvio dos resultados no dia 14/07 e 15/07. Porém, mesmo com estas e outras interferências, já foi possível assegurar CR em 350kg/tg após 25 dias de operação do AF3.

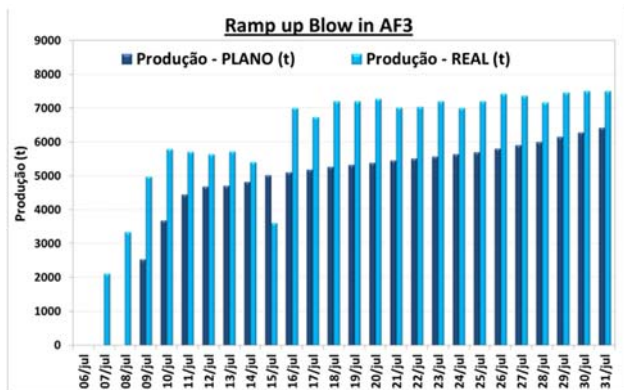


Figura 14. Produção diária do AF3 após o Blow in.

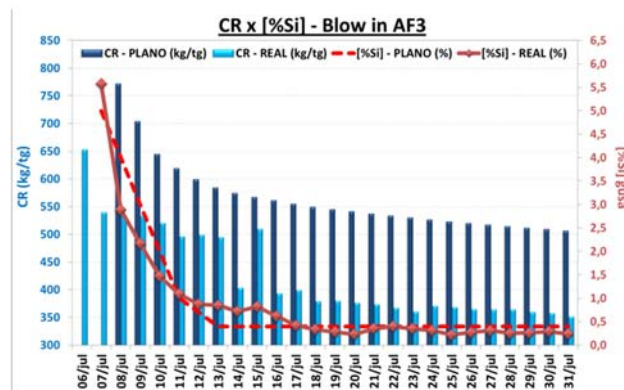


Figura 15. Média diária de CR e %Si após Blow in.

3.7 Processo de redução de Coke Rate

O AF3 tem conquistado importantes resultados nesta 2ª fase de operação, inclusive sustentando patamar de CR mensal abaixo de 310 kg/tg (abaixo da 1ª fase em que o recorde mensal era de 324,4kg/tg) e mantendo FR em torno de 482 a 485 kg/tg, conforme evidenciado na Figura 16 e Figura 17.

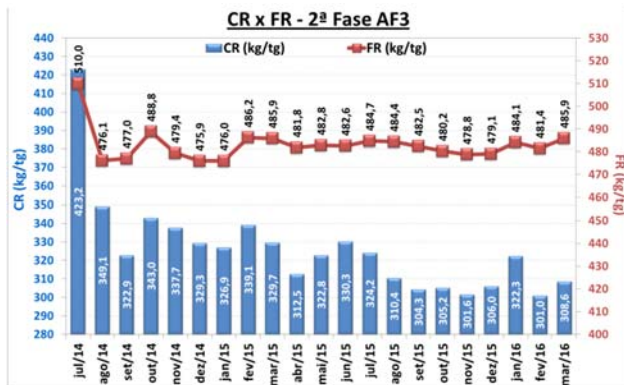


Figura 16. CR e FR mensal da 2ª fase do AF3.

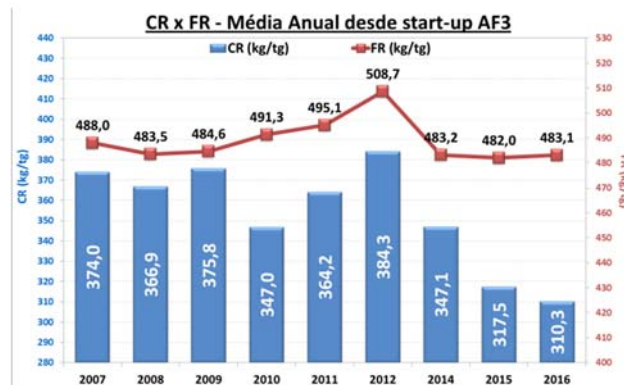


Figura 17. CR e FR anual desde start-up do AF3.

A Figura 18 e a Figura 19 mostram a evolução operacional do AF3, com aumento da taxa de injeção e enriquecimento de oxigênio, bem como a respectiva produtividade mensal (relação volume interno).

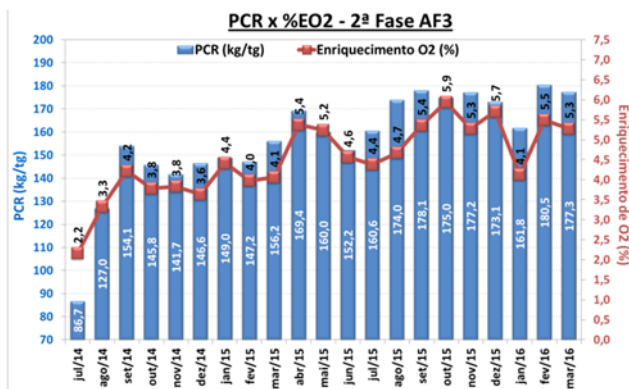


Figura 18. Médias mensais de PCR e %Enriquecimento de Oxigênio, na 2ª fase do AF3.

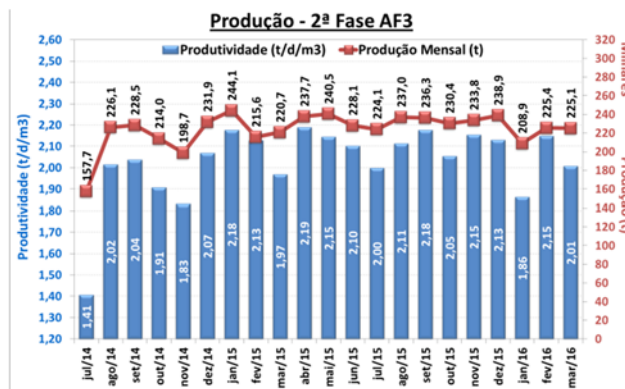


Figura 19. Médias mensais Produção e Produtividade na 2ª fase do AF3.

4 CONCLUSÃO

O procedimento de Blow in da 2ª fase do Alto Forno#3 da ArcelorMittal Tubarão foi realizado de forma bem sucedida, permitindo rápida evolução e estabilização operacional. Iniciou-se injeção de carvão em apenas 6 dias após o Blow in e nos primeiros meses de operação foi possível alcançar resultados históricos de coque rate (redução de custo). O planejamento técnico-operacional foi fundamental para garantir a segurança e performance deste Blow in e processo de evolução.

Agradecimentos

À empresa ArcelorMittal Tubarão e colegas de trabalho, ao Centro de Pesquisa ArcelorMittal R&D.

REFERÊNCIAS

- Sathler F. Estudo descritivo sobre os principais fundamentos teóricos e práticos do procedimento de Blowdown de Altos Fornos. Dissertação (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória. 2013.
- Kaporulin VV, Chernobrivets BF, Alter MA, Urbanovich GI, Emelyanov VL. Some problems in blast furnace blowing in. Steel in the USSR. 1989; 19(6): 236-239.
- Burgo JA. The manufacture of Pig Iron in the Blast Furnace. In: WAKELIN, D. H. (ed.) The Making, Shaping and Treating of Steel. 11. ed. Pittsburgh: The AISE Steel Foundation. 1999. p. 699-740.
- Grigorev VI, Yarikov IS, Alter MA, Emelyanov VL, Loginov AM. Principles for formulating blow-in charge and choosing blast conditions in blast furnace startup. Steel in Translation. 1999; 29(2): 1-8.
- Kaporulin VV, Grigorev VN, Alter, Manaenkov SK, Emelyanov VL. Efficient thermal hearth preparation for blowing in of blast furnace. Steel in the USSR. 1989; 19(10): 419-422.
- Togobitskaya DN, Mozharensko NM, Belkova AI, Stepanenko DA. Analytical evaluation of properties of Blast-Furnace slag providing proper operation of furnace in transient conditions. Metallurgical and Mining Industry. 2000; 2(4): 249-254.
- Geerdes M, Toxopeus H, Van der Vliet C. Modern Blast Furnace Ironmaking: an introduction. 2. ed. Amsterdam: IOS Press, 2009. 164 p
- Ivleva LS, Titov VN, Choshnova D, Inozemtsev NS. Gas-blast regime of blast-furnace smelting at the beginning of the furnace blowing-in period after thorough repairs. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015; 50(6): 569-573.
- Rorick, FC. Challenging Blast Furnace Operations. Blast Furnace Ironmaking Course – Operations. Canadá: McMaster University. 1999; 2(14): 61p.