

INÍCIO E ESTABILIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DO ALTO-FORNO 1 DA CSP*

André Jose de Souza Monsores¹
Erik Alan de Arruda Vieira²
Gilberto Cruz e Silva³
Pedro Seongyeon Kim⁴
Angelo Guimarães Parreira⁵

Resumo

O início de operação da companhia Siderúrgica do Pecém foi um grande marco para a tecnologia e economia do estado do Ceará. O alto-forno é parte principal da área denominada “Redução”, onde ocorre o processo de transformação das matérias primas (carvão, coque e minério de ferro) no produto ferro-gusa que é a principal matéria prima para o processo de fabricação de aço. A robustez dos equipamentos permite larga capacidade produtiva e por isso ainda é a melhor tecnologia capaz de atender à demanda mundial no consumo de aço. Este trabalho apresenta o plano de início de operação e estabilização do processo do alto-forno, denominado “Início de Sopro”, apresenta os parâmetros definidos para o direcionamento operacional, os índices de performances que balizaram a assertividade no atendimento às metas planejadas. Neste trabalho é possível visualizar os procedimentos para as etapas de comissionamento dos principais equipamentos, a curva de elevação de produção, o atendimento às especificações conforme mensuradas no projeto e os resultados obtidos que sustentaram o sucesso do evento.

Palavras-chave: Alto-forno; Siderúrgica; Redução; Início de Sopro.

BLAST FURNACE 1 CSP STARTUP AND STABILIZATION OPERATION

Abstract

The start-up of the Pecém Steel Plant was a great landmark for the technology and economy of Ceará state. The blast furnace is a major part of the area known as “Ironmaking”, where the transformation process of raw materials (coal, coke and iron ore) takes place in hot metal, which is the main raw material for the steelmaking process. The robustness of equipment allows large production capacity and is therefore still the best technology capable of meeting the global demand for steel consumption. This paper presents the operation start-up plan and blast furnace process stabilization, denominated "Blow in". It presents the defined parameters to operational direction, the performances index that were the focal point for meeting the planned goals. In this paper it is possible to visualize the procedures for the commissioning stages of the main equipment, the production elevation curve, the fulfillment of the specifications as measured in the project and the results obtained that sustained the success of the event.

Keywords: Blast Furnace, Steel Company, Ironmaking; Blow in.

¹ Engenheiro Metalurgista, Especialista de Alto-Forno, Gerência Técnica de Redução, Companhia Siderúrgica do PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

² Engenheiro de Produção em Metalurgia e Materiais, Especialista de Alto-Forno, Gerência Técnica de Redução, Companhia Siderúrgica do PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Coordenador de Alto-Forno, Gerência de Alto-Forno, Companhia Siderúrgica do PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerente Técnico de Alto-Forno, Gerência de Alto-Forno, Companhia Siderúrgica do PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalurgista, Analista de Alto Forno, Gerência Técnica de Redução, Companhia Siderúrgica do PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Ceará, Brasil.

Com a conclusão do processo de aquecimentos dos regeneradores, secagem do forno próprio e enchimento do alto-forno, espera-se que todos os equipamentos que fazem parte da planta do alto-forno sejam testados e aprovados concluindo o comissionamento a quente dos mesmos.

2.1.1 Secagem e Aquecimento dos Regeneradores

O regenerador é um modelo fornecido pela empresa Kalugin composto por câmara de combustão interna com ampla superfície refratária que apresenta como vantagem de troca térmica com baixo consumo de combustível, bem como redução de emissões de CO₂. Projetado com o sistema de recuperação de calor do gás residual, apresenta menor dimensão que os demais economizando refratários. Os objetivos para o aquecimento dos refratários dos regeneradores são: secar a umidade, prevenção de trincas por expansão de calor, aquecimento simultâneo, obtenção de calor suficiente para o processo e condicionar o regenerador para a secagem e o sopro do alto-forno. A curva de aquecimento foi entregue pelo fornecedor com todas as especificações em relação aos gases utilizados, temperatura de chama e volumes de gás. A Tabela 1 apresenta a curva utilizada.

Tabela 1. Curva de aquecimento do regenerador Kalugin

Plano de Aquecimento	
0 a 100°C	2,0°C/h
Manter em 100°C por 84 horas	
100 a 300°C	0,5°C/h
300 a 400°C	1,5°C/h
400 a 700°C	4,0°C/h
700 a 1200°C	7,0°C/h

O plano de aquecimento dos regeneradores prevê conclusão em 30 dias e a partir daí o mesmo é mantido quente obedecendo às limitações previstas no projeto: temperatura de domo máxima de 1400°C e mínima de 900°C temperatura de gás queimando máxima de 450C.

2.1.2 Secagem dos refratários do forno próprio e teste de pressão

Os objetivos da secagem do alto-forno são os seguintes: eliminação da umidade em refratários para melhorar a força de ligação da argamassa, prevenção de danos causados por choque térmico no refratário considerando as regiões que compreendem desde o cadinho até as tubulações mais elevadas chamadas de "off takes" utilizando o ar quente que soprado e aquecido nos regeneradores é insuflado pelas ventaneiras com pressão controlada.

No processo de secagem do alto-forno, os testes de vazamentos são realizados simultaneamente, por esse motivo, o plano de inspeção de vazamentos deve ser realizado envolvendo o maior número de pessoas de forma que as equipes tenham capacidade de rastrear 100% dos equipamentos. Para monitoramento da temperatura interna do alto-forno são instalados termopares auxiliares em pontos estratégicos para garantir o monitoramento das temperaturas em diferentes níveis.

Os parâmetros de controle elaborados visaram uma taxa de elevação de temperatura lenta para que a remoção de umidade contida seja realizada sem

provocar trincas nos refratários. A Tabela 2 apresenta o plano adotado para o alto-forno 1 da CSP.

Tabela 2. Parâmetros para secagem do alto-forno

Parâmetro	Unidade	Valor
Temperatura de Sopros	°C	350
Temperatura de Topo	°C	Max 300
Elevação de Temperatura	°C/h	10 ~30
Esfriamento	°C/h	6 ~8
Pressão de Topo	g/cm ²	300
Volume de Sopros	Nm ³ /min	Max 2000,0

Se a umidade gás for superior a 5g /Nm³, significa que a secagem deve ser mantida caso contrário a secagem é concluída e o teste de vazamento se inicia.

O teste de vazamento compreende em elevação da pressão interna do alto-forno a 1.000g/cm² e durante esta condição toda a equipe procede à varredura dos equipamentos com (sabão e marcadores) para identificar os pontos que apresentem vazamentos. Esse processo se repete até que 100% dos vazamentos mapeados sejam eliminados. O plano de secagem e vazamento é mostrado na Figura 4.

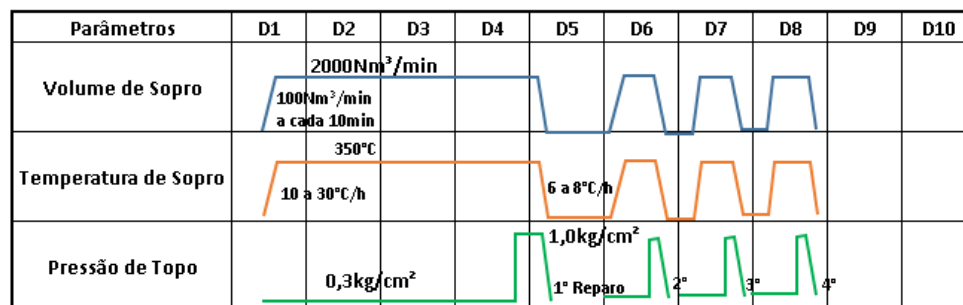


Figura 2. Plano de secagem e testes de pressão no alto-forno

A redução rápida da temperatura durante o processo de esfriamento deteriora o refratário no alto-forno por isso, é necessário o resfriamento moderado conforme previsto no plano.

2.2 Forramento do cadinho com madeira

A forragem do cadinho com madeira é necessária para facilitar o acendimento do coque carregado no alto-forno visando elevar a temperatura interna a níveis que condicionará ao aquecimento das zonas exotérmicas. Estes materiais devem ter alta resistência para suportar o peso da carga que será carregado no processo de enchimento. Devem ser abertas posições nas ventaneiras de forma que o enchimento com madeira preencha de forma concêntrica e compacta em toda a região do cadinho.

Com o propósito de proteger os refratários do fundo do cadinho do impacto da madeira, é necessário cobrir com coque a uma profundidade recomendada de 1,5m. A sequência de enchimento com madeira deve ser realizada procedendo à inserção simultânea nas diferentes posições até atingir o nível de 1m abaixo das ventaneiras. A partir desta etapa as madeiras devem ser agrupadas formando um plano até o nível inferior das ventaneiras. A Figura 3 ilustra o esquema de carregamento de madeira.

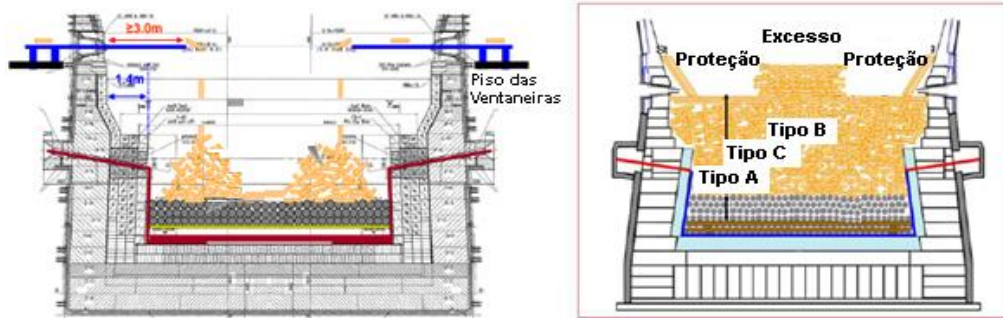


Figura 3. Posicionamento da madeira no cadinho

No frontal das ventaneiras que foram abertas são colocados sacos de carvão para promover a queima inicial e acima de todas as ventaneiras são colocadas madeiras para proteção contra o impacto das cargas de enchimento.

2.3 Enchimento do alto-forno com a carga do Leito de Fusão.

2.3.1 Leito de Fusão

O carregamento das matérias-primas está intimamente relacionado com a operação 24 horas após o sopro, determinada com base na filosofia de distribuição de carga adotada para início de operação. O objetivo é a estabilidade operacional no menor tempo de forma que os índices de performance tais como: controle de nível térmico, Índice de fluxo gasoso, permeabilidade da carga e rendimento gasoso estejam adequados com o objetivo proposto. A Tabela 3 apresenta os resultados do balanço de massa.

Tabela 3. Balanço de massa do alto-forno 1 da CSP para *Blowin*

Passo	Cargas	Utilização			O/C	C.B (t/ch)	Carga Metálica (t/cg)			Fundentes (t/cg)				volume (m ³ /ch)	Escória					Gusa Carga (t/cg)	C.R (kg/t)	Produção (t)	
		Vol. (m ³)	Tota l	S.L (m)			S.O	Pelota	total	Quartzo	Calc.	LD slag	total		C/S	S.R (kg/t)	S.V (t/ch)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)				
12	1	78	3977	1,3	2,10	25,0	42,0	10,5	52,5	4,2	0	0	4,2	82,4	1,0	369	12,0	13,2	4,5	32,4	771	32,4	
11	2	142	3898	2,3	1,60	25,0	32,0	8,0	40,0	3,3	0	0,9	4,3	75,4	1,0	418	10,4	13,5	4,9	25,0	1001	49,9	
10	3	196	3756	4,1	1,20	25,0	24,0	6,0	30,0	2,8	0	2,2	4,9	70,2	1,0	504	9,6	13,3	5,7	19,1	1309	57,3	
9	3	183	3561	6,3	0,90	25,0	18,0	4,5	22,5	2,3	0	3,0	5,3	66,1	1,0	607	8,9	13,3	6,3	14,7	1704	44,0	
8	4	226	3378	8,1	0,60	25,0	12,0	3,0	15,0	1,9	0	3,9	5,8	62,2	0,9	808	8,3	13,1	7,0	10,3	2433	41,1	
7	4	214	3152	10,1	0,40	25,0	8,0	2,0	10,0	1,6	0	4,4	6,0	59,5	0,9	1067	7,8	13,1	7,6	7,3	3418	29,3	
6	5	253	2938	11,8	0,20	25,0	4,0	1,0	5,0	1,3	0	5,0	6,4	56,9	0,9	1694	7,4	12,9	8,2	4,4	5698	21,9	
5	6	291	2684	13,7	0,07	25,0	1,4	0,4	1,8	1,2	0	5,3	6,5	55,2	0,9	2860	7,1	12,9	8,6	2,5	10063	14,9	
4	7	333	2393	15,7	0,03	25,0	0,6	0,2	0,8	1,2	0	5,5	6,7	54,7	0,9	3774	7,1	12,7	8,7	1,9	13253	13,2	
3-2	3	140	2060	17,7		25,0				1,1	0	5,5	6,7	54,3	0,8	4912	7,0	12,7	8,7	1,4	17444	4,3	
3-1	10	430	1920	18,6		25,0								50,0									
2	15	638	1490	21,0		25,0								50,0									
1		853	853	25,1																			
Total	63	3977			0,27	1575	344,4	86,2	431,0	65,5	0,0	162,2	227,6			984,4	303,6						308

Onde: (O/C) Relação minério / coque (t/t), (C.B) Base de Coque (t), (S.O) Sinter, (LD Slag) Escória de convertedor LD, (C/S) – Basicidade binária (CaO/SiO₂), (CR) Coke Rate (kg/t) e (SL) Nível de Sonda.

2.3.2 Distribuição de carga

O sistema de carregamento de topo do alto-forno 1 da CSP é o modelo “bell-less”, que apresenta ampla faixa de operação para controle de distribuição de carga com direcionamento mais preciso através de um posicionamento angular afinado que garante assertividade na matriz desejada. Esta eficiência na distribuição de carga

promove melhor controle da distribuição de permeabilidade da carga. No entanto, para aumentar a estabilidade e eficiência, é necessário compreender a característica do equipamento, propriedades dos materiais e os parâmetros operacionais adotados.

O processo de enchimento do alto-forno é o único momento disponível que antecede a partida do alto-forno, para realizar todos os testes de trajetória que definem os ângulos mais assertivos para os diferentes materiais que apresentam as variabilidades em relação a fatores fluidodinâmicos (densidade, umidade e granulometria). São dois os principais testes de trajetória, o que avalia o ângulo da calha de distribuição para atendimento ponto de queda desejado e o que determina a altura de carga em relação à variação do raio no alto-forno, este segundo é utilizado para aferição do perfilômetro. A Figura 3 apresenta um desenho esquemático dos dois testes

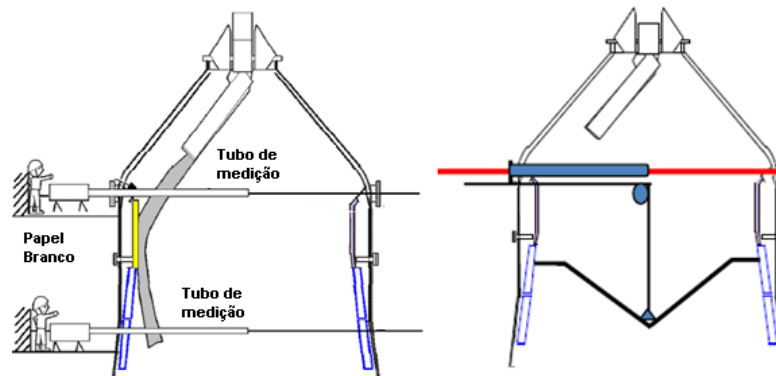


Figura 3. Esquerda: Teste de trajetória, Direita: Teste de nível de carga.

A importância da execução destes testes é mapear e corrigir os desvios apresentados. Um carregamento não concêntrico no interior do alto-forno irá causar diferentes massas de matéria-prima para uma mesma linha de descarga que provocará um fluxo gasoso irregular que desequilibra as linhas exotérmicas do processo de transferência de calor.

2.3 Início de operação do alto-forno “Blowin”

Condição de estabilidade operacional após o sopro inicial ocorre quando a “puxada” de carga não apresente oscilações, com permeabilidade regular durante a passagem dos gases entre as camadas de coque e minério, rendimento gasoso que permita redução da taxa de combustível e o principal deles que é o nível térmico que promove temperatura e qualidade de ferro-gusa na faixa especificada. Após a conquista da estabilidade operacional, a produtividade bem como o consumo de combustíveis devem ser otimizadas. A elevação do sopro é o principal parâmetro para elevar a produção, porém no estágio inicial, o volume de sopro é inferior ao normal sendo necessário manter algumas ventaneiras fechadas. A elevação da velocidade de ar nas ventaneiras favorece a penetração dos gases gerados até a região central do alto-forno promovendo o aquecimento das zonas exotérmicas sem perder a permeabilidade. As ventaneiras inicialmente abertas devem estar localizadas estrategicamente acima nas regiões dos furos de gusa.

A continuidade de abertura das demais ventaneiras está condicionada à estabilização do processo e elevação do volume de produção. Diferentes diâmetros permitem obter diferentes velocidades em diferentes regiões do alto-forno.

Usualmente acima dos furos de gusa os diâmetros são menores para maior penetração e melhor proteção dos refratários.

Com o início de sopro é iniciada a queima da madeira e aquecimento interno do alto-forno. O balanço de massa indica a taxa de elevação de líquidos que determinará o momento da primeira corrida de escória. O processo termodinâmico no início de sopro do alto-forno é naturalmente instável pela característica da carga com alto potencial de energia. A parametrização do controle de processo deve estar de acordo com a dimensão dessa energia permitindo segurança operacional.

O modelo de carregamento do coque proposto sustenta a condição de perfil de fluxo gasoso central e melhor controle de permeabilidade. Nesta etapa a tendência de elevação do nível térmico é natural e necessária, um baixo rendimento de gás fará parte deste cenário, porém em caso de elevação excessiva das pressões de base a mesma é controlada com os adequados “inputs”. O gás de topo passa a ser o principal elemento para diagnose das condições operacionais. Por volta da 7ª hora de operação, o resultado de CO no gás de topo tende a reduzir e o CO₂ tende a se elevar, indicando início do processo de redução dos minérios descendentes e formação das primeiras escórias do processo. Este cenário se estabiliza aproximadamente na 12ª e é característico do processo de formação da zona de coesão. A zona de coesão é uma fase presente no processo do alto-forno, onde ocorre a transformação dos minérios do estado sólido para líquido correspondendo a interface entre as zonas de secagem, amolecimento e fusão. Formação da zona de coesão ilustrada na Figura 4.

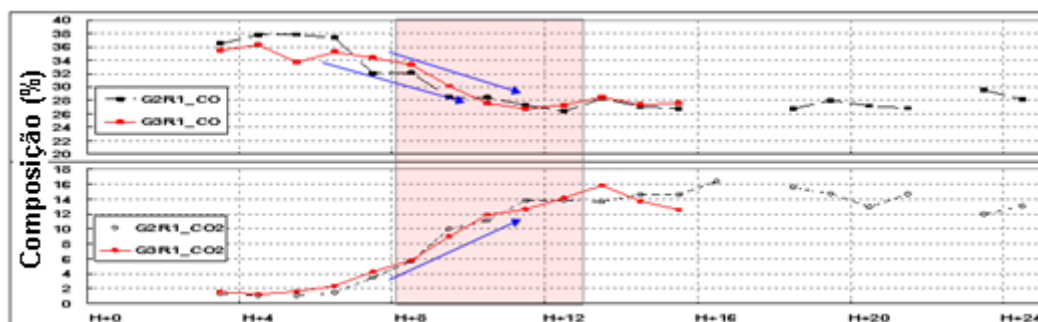


Figura 4. Comportamento dos gases na formação da zona de coesão.

A partir dessa fase o alto-forno está com perfil adequado. As ameaças agora passam a ser inerentes do processo e fenômenos tais como fluidização preferencial de gás e arriamentos de cargas devem ser evitados e a elevação de sopro é necessária.

A Figura 05 ilustra a linha do tempo no planejamento de corridas.

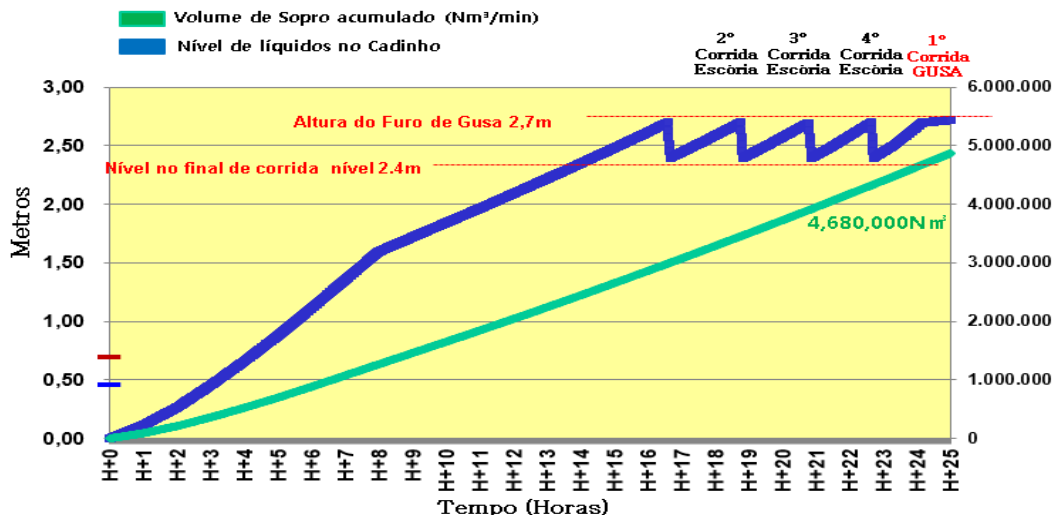


Figura 5. Plano das primeiras corridas de ferro gusa e escória

De acordo com o leito de fusão proposto espera-se a qualidade do ferro-gusa com 5,0% de Si e escória com 13,5% de alumina, características da matriz de coque carregada. A Figura 6 apresenta o gráfico com os resultados obtidos nos altos-fornos da POSCO na Coreia, sendo este cenário previsto para o alto-forno da CSP.

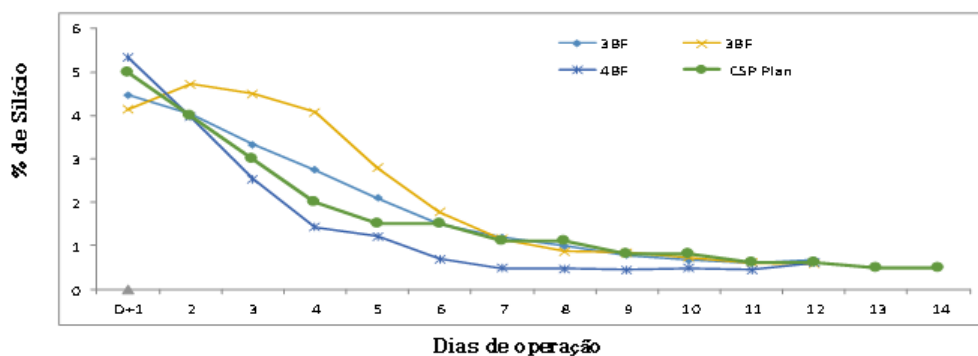


Figura 6. Plano das primeiras corridas de ferro gusa e escória

A partir das fases anteriores o alto-forno se encontra em processo de produção normal, sendo necessária atuação nos principais parâmetros de controle para manutenção da estabilidade. As principais capacidades de projeto seguem na Tabela 4.

Tabela 4. Especificação das capacidades do Alto-forno 1 da CSP

Item	Unidade	Valor
Produção	t/dia	8.745
Produtividade	t/d.m ³	2,31
Coke Rate	kg/t	360
PCI Rate	kg/t	150
Fuel Rate	kg/t	510
Slag Rate	kg/t	305
Sinter	%	80
Pelota	%	20

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao aquecimento dos regeneradores, foram atendidos os níveis de aquecimento previstos com desvios desconsideráveis. O gráfico apresentado na Figura 7 mostra os resultados obtidos para o aquecimento dos 03 regeneradores.

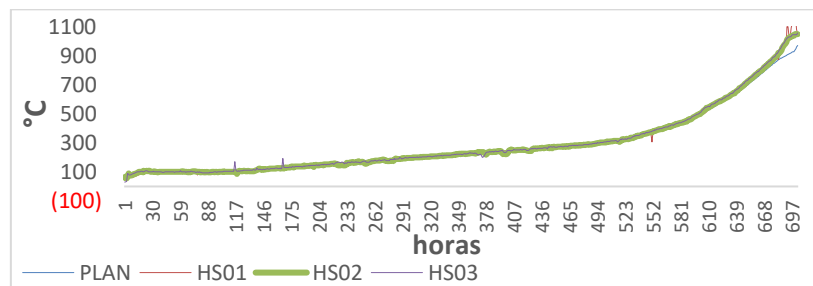


Figura 7. Resultados do aquecimento dos Regeneradores

Quanto à secagem do forno próprio não foi possível coletar a umidade do ar resultante da secagem devido baixa performance do instrumento de análise, contudo a referência apresentada pela POSCO demonstrava que o tempo hábil para concluir este processo é de 36 a 72h. Foram utilizadas 120 horas e como mostra o gráfico na Figura 8. As temperaturas se estabilizaram a partir da 120ª hora indicando um encharque térmico com sopro de 300°C, suficiente para dissipar a umidade retida.

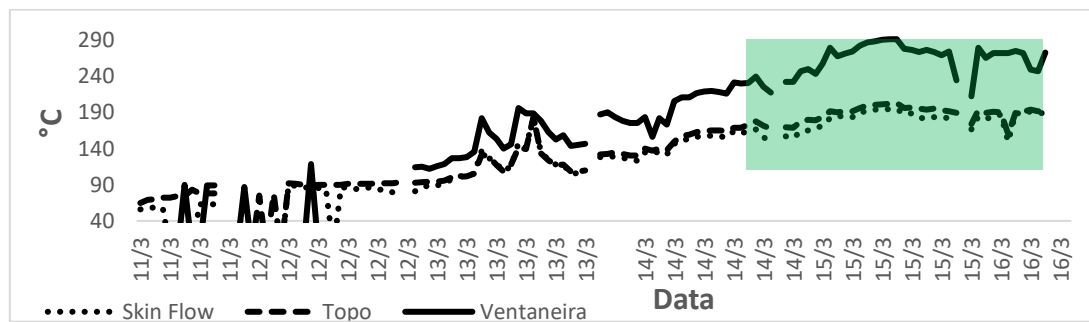


Figura 8. Resultado da Secagem do Forno Próprio

O processo de forragem do cadinho foi procedido com sucesso, sendo preenchida a base com 78 toneladas de coque e o carregamento das madeiras com a compactação, nivelamento e proteção até às ventaneiras conforme ilustra a Figura 9.



Figura 9. Imagem do procedimento de enchimento do cadinho com madeira

O processo de enchimento foi concluído com sucesso assim como os testes de trajetórias. A Figura 10 ilustra o modelo que os resultados foram apresentados.

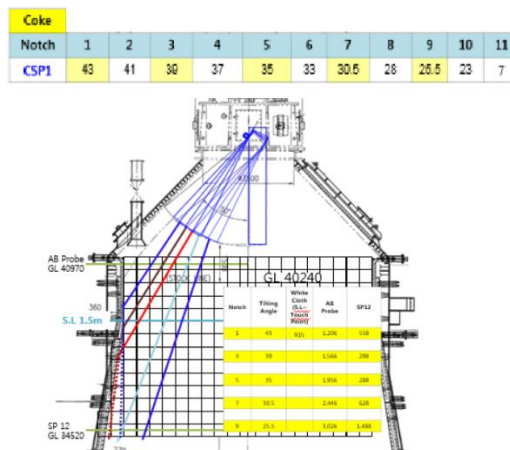


Figura 10. Resultado das linhas de trajetória após testes

Às 23h28min de 10/06/2016 início de sopro, registrando o início de operação do alto-forno 1 da CSP. Verifica-se melhora na estabilidade após a 10ª hora de sopro, momento em que a zona coesiva se formou estabilizando o diferencial de pressão entre as regiões da rampa e cuba do alto-forno. A formação da zona coesiva é visualizada no gráfico na Figura 11.

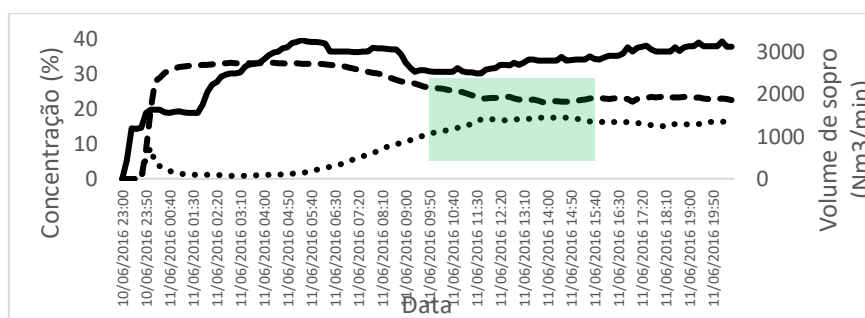


Figura 11. Formação da Zona de Coesão do Alto Forno 1 da CSP.

A Tabela 5 apresenta os horários das primeiras corridas de gusa e escória.

Tabela 5. Monitoramento das corridas do alto-forno

Corridas						Material
Data	Número	Furo de Gusa	Início (h)	Fim (h)	Tempo (h)	
12/06/2016	1	3	00:13	01:55	01:42	Escória
13/06/2016	2	3	05:45	08:06	02:21	Escória
14/06/2016	3	1	10:58	12:38	01:40	Escória
15/06/2016	4	3	11:18	13:17	01:59	Escória e Ferro Gusa

O gráfico da Figura 12 apresenta os resultados obtidos para o silício.

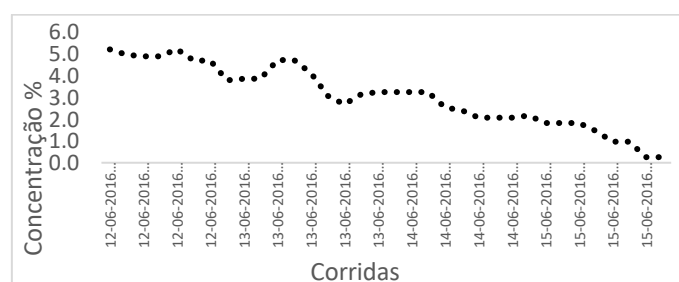


Figura 12. Variação do silício do Ferro Gusa

As especificações de projeto em relação à capacidade de produção e produtividade foram alcançadas em duas oportunidades novembro/16 e maio/17. Na segunda o atingimento de ritmo maior que 2,30 t/d.m³ ocorreu durante 4 dias consecutivos. O gráfico da Figura13 apresenta os resultados atingidos.

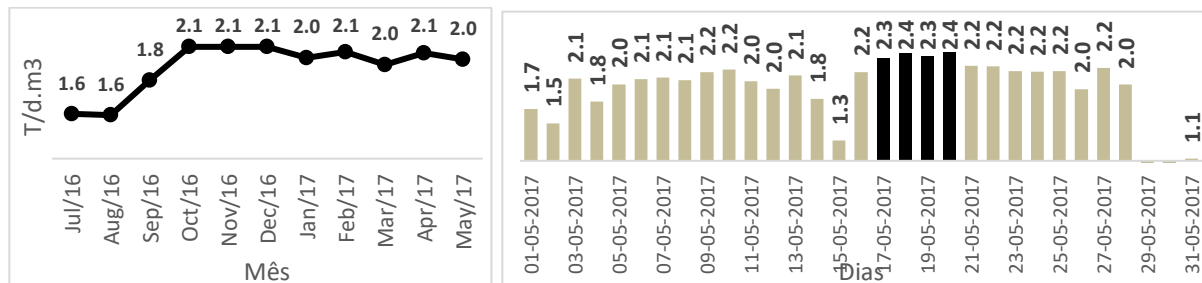


Figura 13. Performance operacional – Produtividade (t/m³)

As especificações em relação a consumo de carga metálica foram atendidas e com resultados expressivos. A CSP chegou a utilizar em média mensal de sinter na carga com valores de 94% mensal e média semestral de 92% para uma especificação de 80%, considerando ritmo de produção de 2,1t/d. m³ conforme Figura 14.

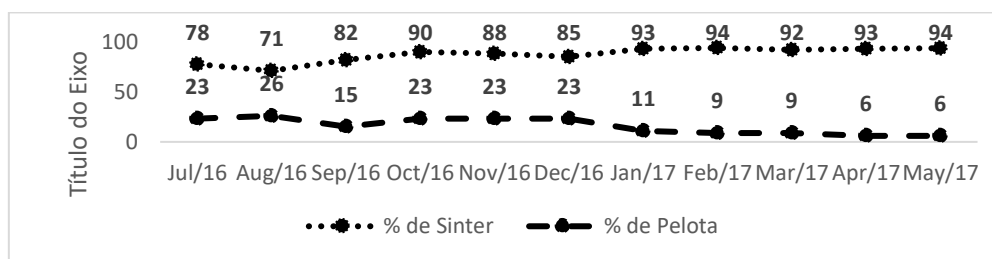


Figura 14. Consumo de carga metálica

As especificações em relação a consumo de combustíveis foram atendidas apresentando performance melhor que o especificado já no 5º mês de operação. Estes resultados nivelam a capacidade competitiva da CSP por cima em relação a consumo específico de coque. Resultados mostrados na Figura 15.

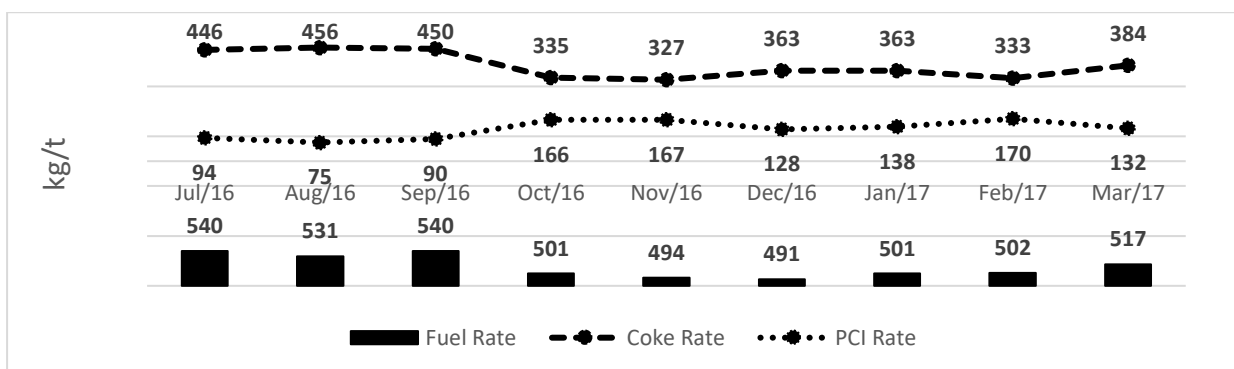


Figura 15. Atendimento ao Fuel Rate (kg/t)

Devido à elevação no consumo de sinter da carga o qual apresenta maior teor de escória dentre as matérias-primas utilizadas, resultou em elevação do volume de escória no alto-forno que era previsto 305kg/t e atingiu valores na faixa 326kg/t. A escória produzida e granulada é fornecida para empresas do ramo de cimento, as quais agregam valor ao produto. A performance prevista para eficiência de

granulação é de 95%, contudo os resultados obtidos no primeiro ano registraram média de 88%, com isso não foi possível maximizar a produção de escória granulada.

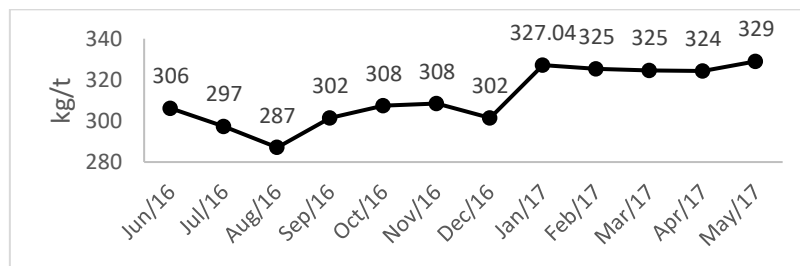


Figura 16. Atendimento ao SlagRate (kg/t)

4 CONCLUSÃO

A data da partida do alto-forno ocorreu conforme o cronograma proposto, considerando o cumprimento de todas as etapas de comissionamento até início de sopro no alto-forno. O atendimento ao planejamento que suportou o “*Blowin*” foi o resultado do conjunto de ações lideradas pelo corpo gerencial da área de redução, que absorveu as demandas inerentes e blindou a equipe frente às ameaças.

O sopro inicial de ar quente consolidou o objetivo da partida da primeira siderúrgica integrada do nordeste brasileiro, projeto este sustentado pela “joint venture” originada das nações Brasil e Coreia representadas pelas empresas Vale, Dongkuk e Posco.

Quanto à estabilização, a assessoria tecnológica fornecida pelas empresas coreanas em fusão com a experiência brasileira em siderurgia proporcionaram padrões encorpados que suportaram o atingimento à performance projetada.

A capacidade produtiva atingida em maio de 2017 de 2,4 t/d.m³ acima da especificação do projeto do alto-forno 1 da CSP de 2,31 t/d.m³ se deu em paralelo à maximização de utilização de sinter na carga metálica em 94% frente a 85% da especificação e validou a conquista de redução de custo operacional, sendo o sinter a carga metálica de menor custo, contudo menor teor de ferro em relação à pelota. O resultado de redução do consumo de combustíveis via coke rate de 327kg/t obtido em novembro de 2016 frente à especificação de 350kg/t, é o índice de performance que aprovou o sucesso na estabilidade operacional, considerando alta taxa de carvão injetado de 167kg/t frente à 160kg/t especificado no projeto findando em fuel rate de 494kg/t frente à especificação de 510kg/t.

Esses marcos de resultados operacionais foram conquistados em um curto período de campanha de 11 meses que refletirá na visão futura da empresa. Dentro deste contexto é correto afirmar que o alto forno 1 da CSP permite produzir ferro gusa em volume proposto no projeto, com custo e qualidade competitivos em âmbito mundial. A capacitação técnica e a documentação formalizada disponível na atual gestão em relação a conceito operacional de alto-forno suporta segurança no negócio.

Recomendam-se desde já desenvolvimentos de projetos para prolongamento de vida útil do equipamento, para que a primeira siderúrgica integrada no nordeste brasileiro se torne referência em volume de produção por campanha operacional.

Agradecimentos

Ao senhor Juarez Sigwalt pela liderança, confiança e motivação exercida para com o corpo de funcionários da área de Redução da Companhia Siderúrgica do PECÉM com os seguintes direcionamentos: “Seja o dono do seu processo; “Sem medo de errar”;; “foco no resultado”; “Seja audacioso” e “Intolerância com o errado”. Ao senhor Luiz Messias pela liderança na gestão das necessidades técnicas. Ao senhor Daniel Resende, aos supervisores, líderes, operadores e terceiros pela dedicação para com as pessoas e equipamentos.

REFERÊNCIAS

- 1 GEERDES M., VAN DER VLIET, C. e TOXOPEUS H.. **Modern Blast Furnace Ironmaking**, IJmuiden, July2009.