

PROLONGAMENTO DA VIDA ÚTIL DO CADINHO DO ALTO-FORNO 1 DA USIMINAS IPATINGA*

Rafael Eduardo Gomes Ribeiro¹
Beatriz Fausta Gandra²
Ricardo Israel do Couto³
Gustavo Alexandre da Costa Manso⁴
Heltom Muzzi Martins⁵

Resumo

A Usiminas possui três altos-fornos em sua Planta Industrial de Ipatinga. Em 2017, foi iniciada a obra para religamento do Alto-Forno 1, que teve a sua operação paralisada em 01/06/2015. Foi definido que o reparo do cadinho seria feito pela substituição dos blocos de carbono nas áreas dos furos de gusa e pela socagem de massa de antracito na face quente dos blocos, similar ao realizado em 2009, que teve sua eficácia comprovada em 2015, após 5 anos de operação. No presente trabalho, são descritos aspectos gerais do equipamento, a situação em que seu cadinho foi encontrado em 2015, análises/efeitos do reparo realizado em 2009 e as ações adotadas em 2018 para a nova campanha. Pode-se afirmar que: (i) não houve desgaste nos blocos de carbono do cadinho; (ii) o reparo realizado em 2009 se mostrou extremamente eficiente; (iii) a operação do Alto-Forno 1 ocorreu adequadamente entre 2010 e 2015, contribuindo sobremaneira para a preservação do cadinho; e, (iv) após reparo do cadinho, a projeção é que sua vida útil seja prolongada por 7 anos.

Palavras-chave: Alto-Forno; Cadinho; Refratário.

HEARTH LIFETIME EXTENSION OF USIMINAS IPATINGA BLAST FURNACE#1

Abstract

Usiminas has three blast furnaces at Ipatinga Industrial Plant. In 2017, it was decided to re-commission of the Blast Furnace#1, which had its operation stopped on 06/01/2015. The hearth repair had to be done by replacing carbon blocks in the tap hole areas and sticking anthracite mass in the hot face of the carbon blocks, similar repair to that one carried out in 2009, which had its proven effectiveness in 2015 after 5 years of operation. The present paper describes general aspects of the equipment, the hearth situation in 2015, the analysis/effects of the repair performed in 2009 and the actions adopted in 2018 for the new campaign. As main conclusions: (i) there was no wear on the hearth carbon blocks; (ii) the repair carried out in 2009 proved to be extremely efficient; and (iii) Blast Furnace#1 operation between 2010 and 2015 was adequate, contributing greatly to the preservation of the hearth; (iv) after repair of the hearth the projection is that its useful life is extended for 7 years.

Keywords: Blast Furnace; Hearth; Refractory.

¹ Engenheiro Metalurgista, Gerência Técnica de Redução, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Membro da ABM; Engenheira Metalurgista, M. Sc., Pesquisadora, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheiro Civil, Coordenador de Manutenção, Gerência de Serviços e Refratários, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerência de Altos-Fornos, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

⁵ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Gerência Geral de Redução, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Usiminas possui três altos-fornos em sua Planta Industrial de Ipatinga. Devido à queda da demanda por aço, motivada por retração da economia brasileira, a operação Alto-Forno 1 de Ipatinga foi paralisada no dia 01/06/2015.

Em 2017, foi iniciada a obra para religamento do Alto-Forno 1 de Ipatinga. Foi definido que o reparo do cadinho seria feita substituição dos blocos de carbono nas áreas dos furos de gusa (21 blocos) e pela socagem de massa de antracito na face quente dos blocos decarbono. Este reparo é similar aquele realizado em 2009, que teve sua eficácia comprovada em 2015, após 5 anos e 3 meses de operação. Importante ressaltar que a última reforma do cadinho ocorreu em 1997, após esta reforma foram realizados dois reparos, em 2009 e 2017.

No presente trabalho, são descritos aspectos gerais do equipamento, a situação em que seu cadinho foi encontrado em 2015 após paralização, análises/efeitos do reparo realizado em 2017 e as ações adotadas para a nova campanha (8ª Campanha).

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Informações Gerais do Alto-Forno 1 da Usiminas Ipatinga

O Alto-Forno 1 é um equipamento de pequeno porte, sendo suas características principais listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características do Alto-Forno 1

Produção	t/dia	2150
Volume interno	m ³	885
Volume útil	m ³	780
Diâmetro do cadinho	m	7,0
Número de ventaneiras	-	16
Número de furos de gusa	-	2
Sistema de refrigeração	-	Placas
Topo	-	Duplo cone
Carregamento	-	Skip
Contrapressão	g/cm ²	-

Na Tabela 2 é apresentado o histórico da duração das campanhas do AF1 com os principais dados de processo/operação.

Tabela 2. Duração das campanhas do Alto-Forno 1

Camp.*	Blow in	Blow out	Produção (t)		Produtividade		CR	Óleo	PCI	FR	IO**
	Data		Campanha	Acumulada	t/d/m ³	t/m ³					
1ª	26/10/1962	22/03/1971	2.498.573,3	2.498.573,3	0,919	2.823,247	587,0	-	-	587,0	95,8
2ª	06/05/1971	06/05/1971	2.096.474,2	4.595.047,5	1,532	2.190,673	471,0	37,0	-	508,0	95,9
3ª	29/06/1976	31/03/1978	987.613,0	5.582.660,5	1,610	1.031,989	440,0	51,0	-	491,0	96,3
4ª	25/09/1978	22/11/1982	2.548.134,7	8.130.795,2	1,894	2.879,248	442,0	35,0	-	477,0	97,6
5ª	14/10/1983	28/09/1997	9.688.354,7	17.819.149,9	2,147	10.947,293	447,5	-	33,7	481,3	98,8
6ª	12/12/1997	12/12/2008	8.229.000,6	26.048.150,5	2,314	9.298,306	404,3	-	112,2	516,5	98,1
7ª	28/01/2010	01/06/2015	3.467.692,7	29.515.843,2	1,837	3.918,297	357,4	-	125,5	482,9	86,7
8ª	03/04/2018	-	90.829,1	29.606.672,3	1,770	102,632	411,1	-	63,6	474,7	36,21

* Camp.: campanha; ** IO: Índice de operação.

Contudo, é importante ressaltar que, a interrupção de sua produção no intervalo da sétima para a oitava campanha (abafamento no período de 01/06/15 a 03/04/18) foi motivada pela retração da economia brasileira, o que impediu grandes investimentos no equipamento, priorizando atividades vitais para a operação estável do Alto-Forno 1.

As principais atividades executadas foram: (i) reperfilamento do Alto-Forno1; (ii) recuperação dos refratários dos regeneradores; e, (iii) troca de um trecho da carcaça do forno.

O cadinho sofreu intervenções visando estender a oitava campanha até 2025 (próxima reforma prevista), conforme detalhado no presente trabalho.

2.2 Antecedentes - Condição do Cadinho do Alto-Forno 1 em 2010

Em 2010, o Alto-Forno 1 iniciou a sétima campanha após sofrer as seguintes intervenções no cadinho:

- troca de 346 blocos, da fiada 6 a 12 e aplicação de massa de antracito na parede interna (face quente do bloco);
- substituição dos blocos de carbono menores, de 850mm de comprimento. O projeto original define 1150mm, ou seja, o cadinho ficou com uma parede mais delgada.

O cadinho após sofrer as intervenções citadas acima, ficou com o perfil demonstrado na Figura 1.

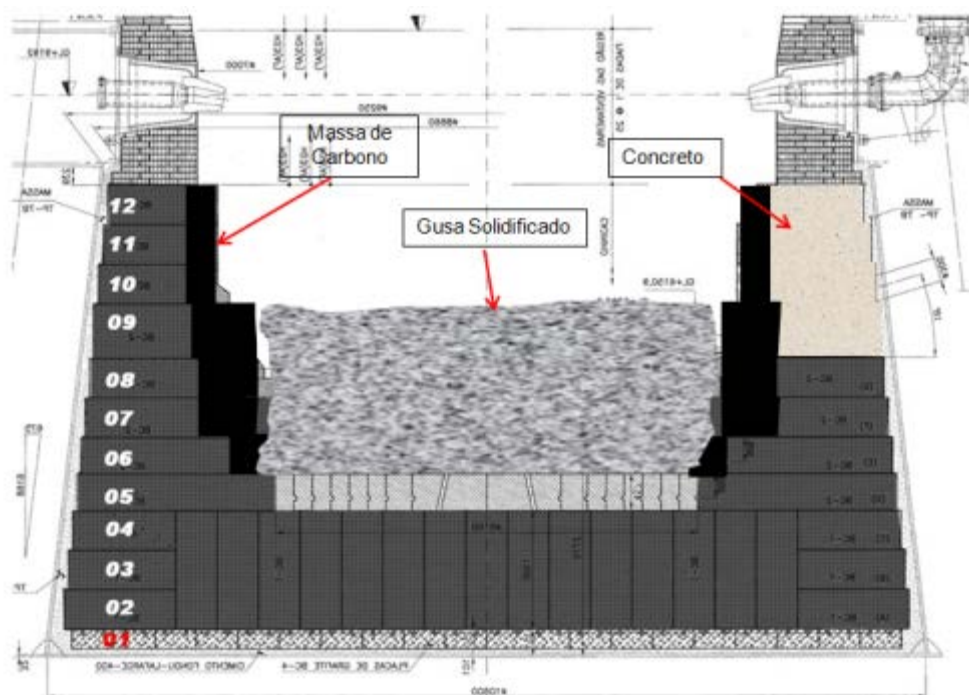


Figura 1. Perfil do cadinho do Alto-Forno 1 após reparo realizado.

Ao término do reparo, foram catalogados todos os blocos instalados, incluindo a sua espessura e quantidade de massa necessária para reperfilamento do cadinho.

Os blocos novos e os já existentes foram medidos, sendo traçado o radial do cadinho de acordo com cada fiada, os dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3.Medição dos blocos de carbono pós-reparo em 2009(em mm)

Fiada	Ângulo	Espessura do boco
8	0	990
8	90	840
8	180	920
8	270	910
Fiada Ângulo Espessura do boco		
10	0	900
10	90	895
10	180	888
10	270	800
Fiada Ângulo Espessura do boco		
12	0	710
12	90	710
12	180	710
12	270	710

Fiada	Ângulo	Espessura do boco
9	0	840
9	90	940
9	180	895
9	270	840
Fiada Ângulo Espessura do boco		
11	0	845
11	90	845
11	180	850
11	270	840

Os dados das medições realizadas em 2009 são utilizados no decorrer do trabalho para análises e validação do desgaste do cadinho.Vale ressaltar que foram inseridos 81 novos termopares para controle da temperatura do cadinho.

2.3 Operação do Alto-Forno 1 entre 2010 e 2015

O Alto-Forno 1 teve seu *blow-in* realizado em 28/01/2010. Durante o período de 2010 a 2015, sua operação foi relativamente tranquila, com baixa produtividade, conforme mostrado na Figura 2.

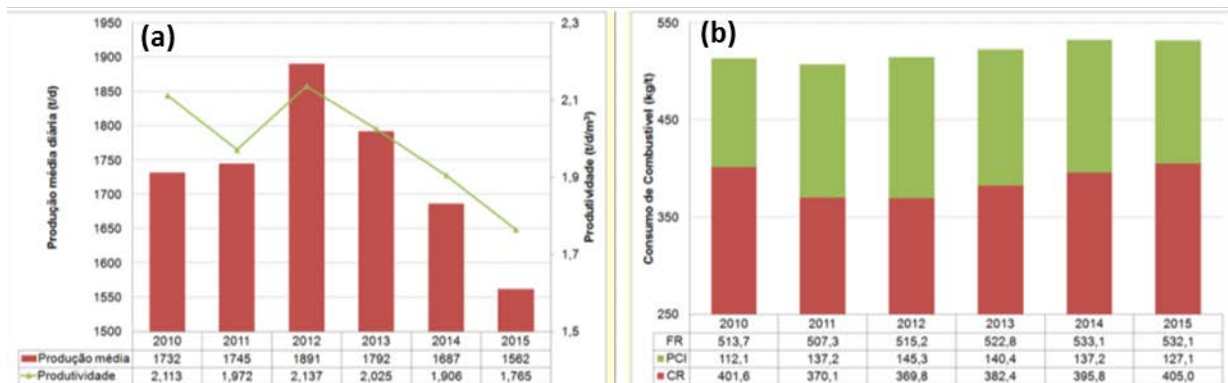


Figura 2.Parâmetros do Alto-Forno 1 durante sua operação entre 2010 e 2015:
(a) Produção, (b) Consumo de combustível.

O comportamento das temperaturas do cadinho ficou dentro da normalidade do processo durante todo o período de funcionamento do forno, até mesmo nos furos de gusa (FG), como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Temperaturas máximas durante a sétima campanha do Alto-Forno 1

Ground Level	PENETRAÇÃO	ÂNGULO	LADO	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	
5104	57	90	FG-2	132	
	65	0		58	
	57	47	FG-2	89	
	50	91		136	
	50	137		107	
	50	180		87	
	4624	50	227	FG-1	56
		50	270		68
		50	317		76
		174	1	FG-2	79
150		90	181		
150		181	107		
150		271	84		
57		356	61		
50		45	73		
50		135	87		
4166	50	180	FG-1	71	
	50	225	FG-1	69	
	50	270		77	
	50	315		67	
	156	358	FG-1	73	
	150	182		97	
	150	272		90	

Baseado nas condições operacionais foi realizada pela equipe técnica uma expectativa de vida útil para este forno, conforme Figura 3.

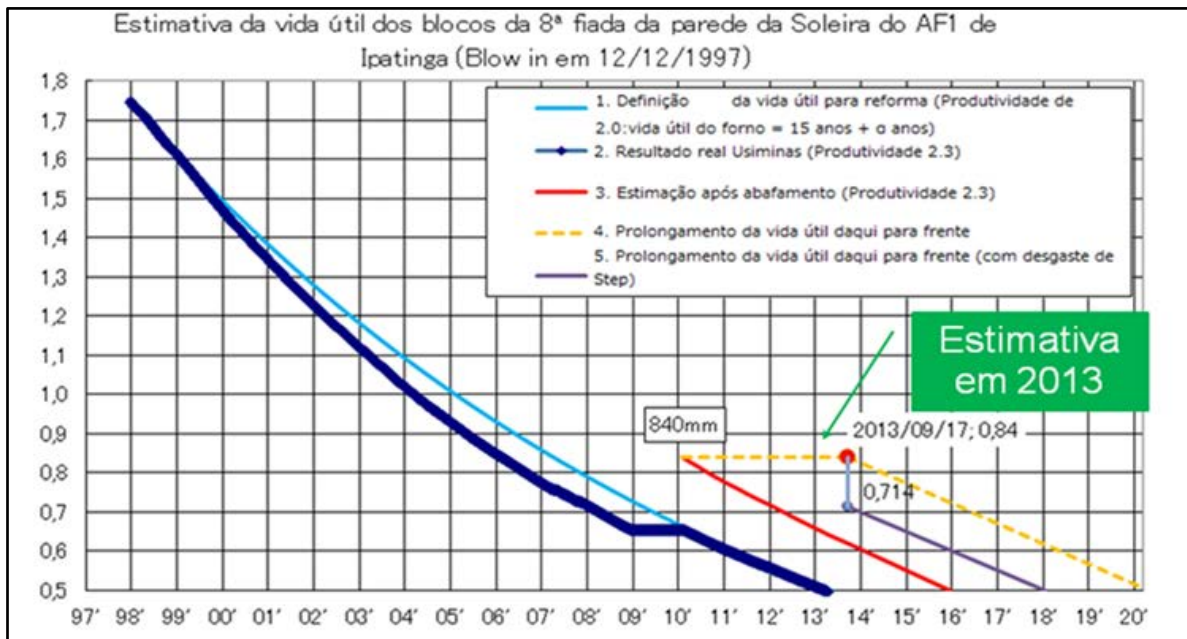


Figura 3. Estimativa de vida útil Alto-Forno 1.

2.4 Reparo Realizado no Cadinho

Após resfriamento do Alto-Forno 1 em 2015 foi iniciado o processo gradual de limpeza do cadinho para inspeção, no qual a equipe foi surpreendida positivamente

quando se deparou com uma condição de blocos completamente preservada, inclusive, em alguns casos, a presença de massa socada remanescente, Figura 4.

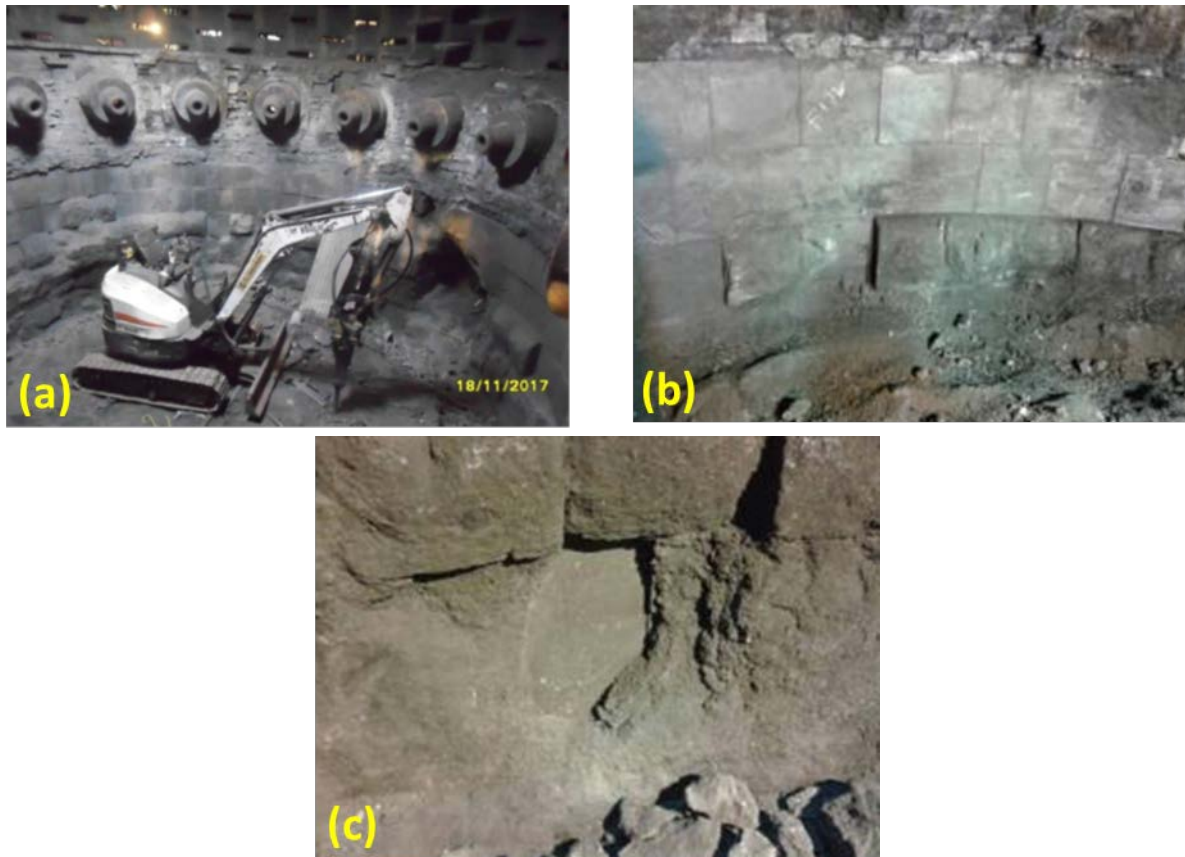


Figura 4. Fotografia evidenciando a condição atual do cadinho: (a) processo de limpeza do cadinho, (b) blocos preservados, (c) remanescente de massa na superfície do bloco.

Contando com a vasta experiência da equipe Usiminas, foi realizado um minucioso trabalho para reparo no cadinho no intuito de estender sua vida útil por mais 7 anos. Na Figura 5 são indicados os pontos reparados e os tipos de materiais aplicados.

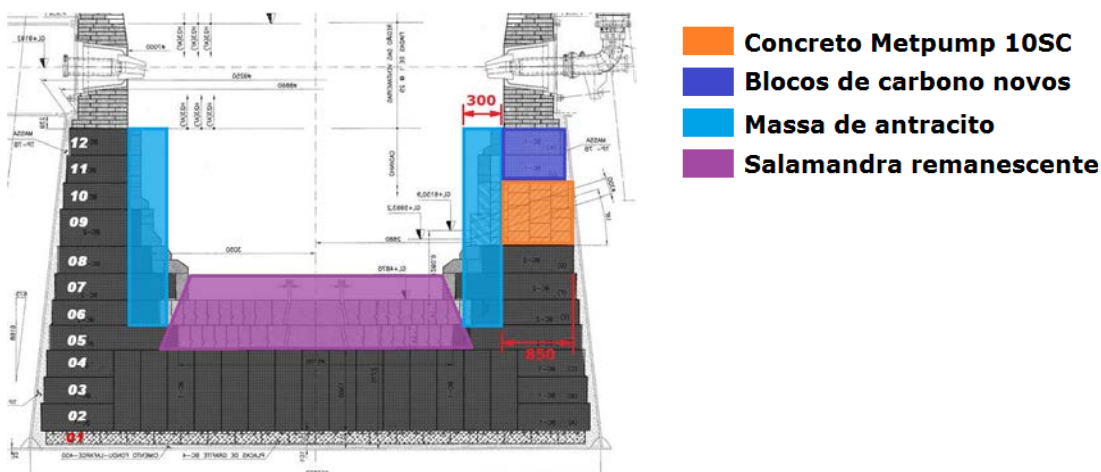


Figura 5. Condição após reparo do cadinho em 2018.

Na Tabela 5 é mostrado um comparativo entre os reparos realizados nos eventos de 2009 e 2015.

Tabela 5.Comparativo dos reparos realizados em 2009 e 2015

	Blow-out 12/12/2008	Blow-out 01/06/2015
Escopo	Substituição parcial dos blocos de carbono	Substituição parcial dos blocos de carbono
	Socagem de massa carbonosa na face quente dos blocos de carbono. Espessura 300 mm	Socagem de massa carbonosa na face quente dos blocos de carbono. Espessura 300 mm
Material do reparo	Massa de antracito carbonosa	Massa de antracito carbonosa
Número de blocos substituídos	346	21

NOTA: o cadinho do AF1 possui 771 blocos de carbono.

Devido o sucesso da aplicação de massa de antracito em 2009, foi utilizado o mesmo material em 2015. Após a substituição e limpeza dos blocos de carbono foi realizada a aplicação do material na face quente dos blocos, como apresentado na Figura 6.

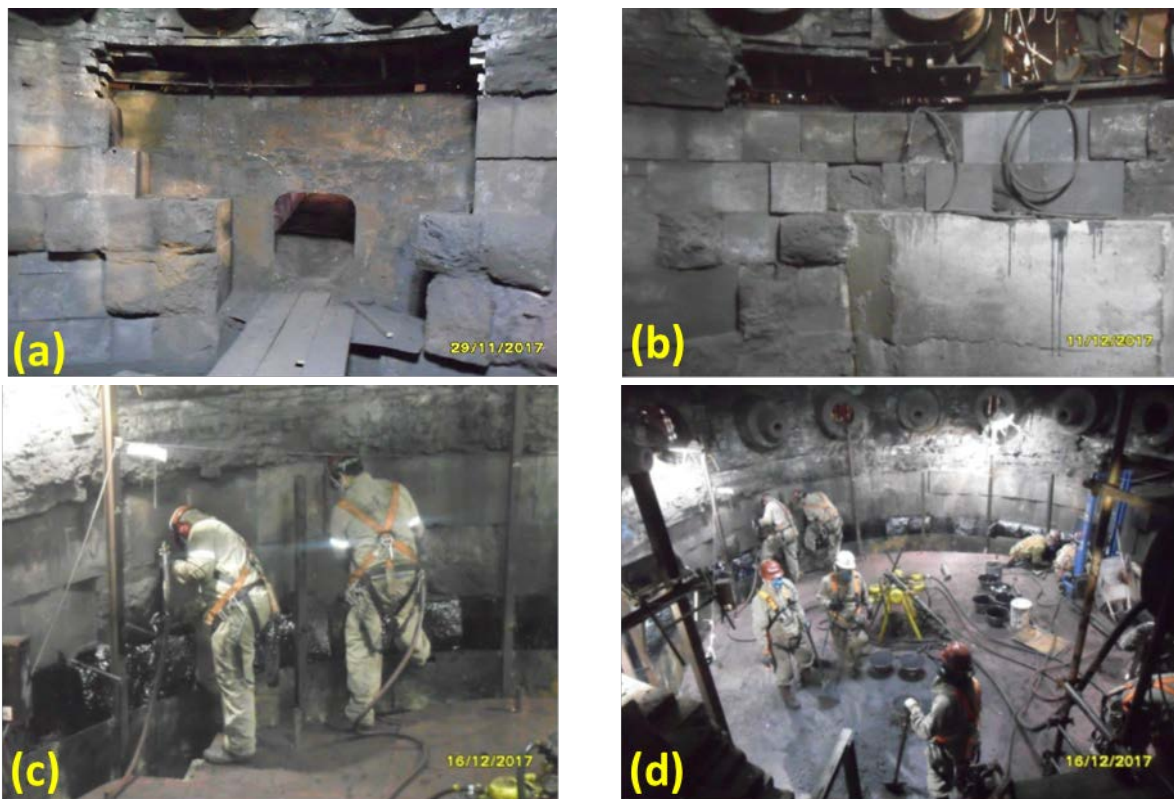


Figura 6.Fotografias evidenciando o processo de reparo do cadinho: (a) remoção dos blocos do furo de gusa 2, b) condição após reparo no furo de gusa 2, (c) socagem da massa de antracito carbonosa, (d) procedimento de socagem de massa.

2.5 Desgaste do Cadinho

O acompanhamento das condições do revestimento interno do cadinho é imprescindível para uma melhor segurança e controle da operação dos altos-fornos.

A Usiminas possui um modelo de avaliação do desgaste do cadinho. Em 1999, após *blow-out* do Alto-Forno 3 da Usina de Ipatinga foram realizadas análises que validaram a precisão do modelo comparando os dados medidos e calculados.

Para calcular o perfil de desgaste do cadinho é primordial que os termopares estejam dispostos de tal forma que possibilitem calcular o fluxo de calor. Para isto, deve-se ter uma configuração com pelo menos dois termopares em linha na direção

do fluxo de calor. Vale ressaltar que a distância entre os dois termopares deve permitir obter com confiança a representatividade dos dados de temperatura a serem processados pelo modelo.

No Alto-Forno 1 são utilizados 122 termopares, sendo 38 pares (inseridos a 50 mm e 150 mm), 4 especiais na região dos furos de gusa (300 mm de inserção) e demais 42 solteiros (inserções de 50, 150, 500, 1150 e centro).

Baseado na comparação das medidas encontradas em 2009 (Tabela 3) e 2015 (Tabela 6) pode-se afirmar que não ocorreu desgaste no cadinho. Como visto na Figura 4, não houve consumo total da massa socada.

Tabela 6. Medição dos blocos de carbono pós-limpeza

Fiada	Ângulo	Espessura do boco
8	10	1083
8	110	968
8	190	964
8	290	1148
10	10	1052
10	110	897
10	190	1002
10	290	1040
12	10	771
12	110	852
12	190	766
12	290	771

Fiada	Ângulo	Espessura do boco
9	10	1068
9	110	921
9	190	1003
9	290	933
11	10	817
11	110	868
11	190	848
11	290	820

Na Figura 7 são apresentados os resultados comparativos da espessura do bloco de carbono entre o início e final da sétima campanha do Alto-Forno 1.

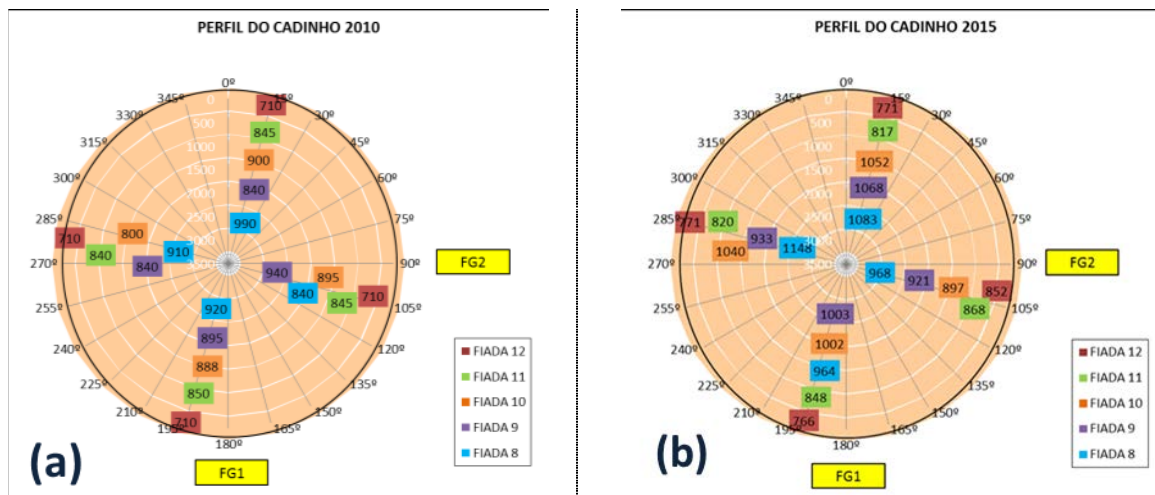


Figura 7. Resultados comparativos da espessura (mm) dos blocos de carbono: (a) início da campanha, (b) final da sétima campanha do AF1.

Na Figura 8 é ilustrada uma das maneiras de monitoramento das temperaturas do cadinho, continuamente realizado pela equipe técnica/operacional.

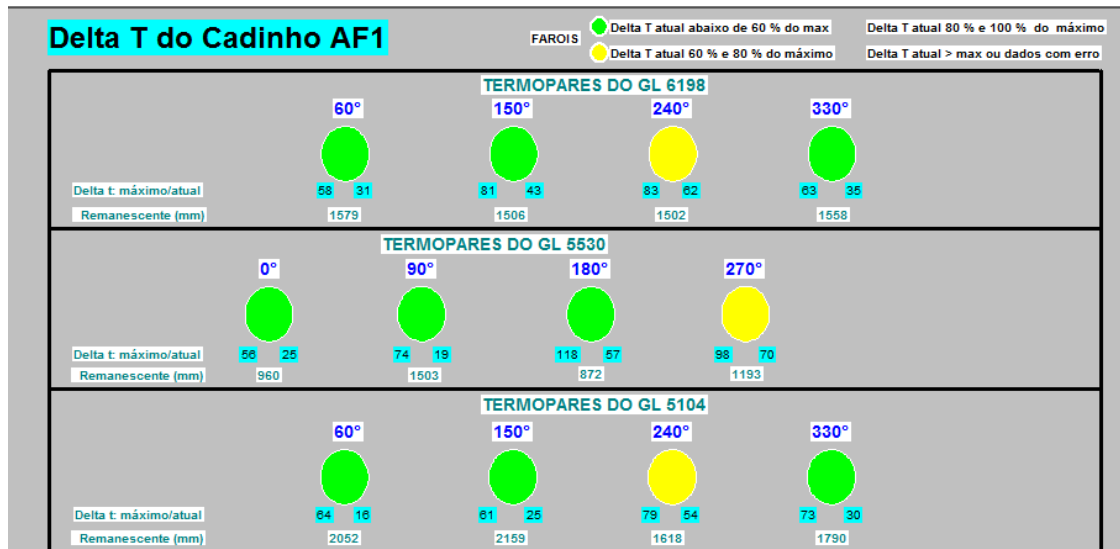


Figura 8. Monitoramento das temperaturas do cadinho.

Na Usiminas [1], algumas ações praticadas no sentido de evitar a elevação de temperatura do cadinho e controlar situações críticas que podem resultar em desgaste dos blocos são:

- limitação da produtividade;
- controle da qualidade das matérias-primas enforadas;
- comprimento visado dos furos de gusa ≥ 2.500 mm;
- injeção de óxido de titânio (se necessário) via carvão pulverizado ou aplicado pontualmente nos pontos quentes;
- alteração na qualidade química do gusa e escória em caso de elevação de temperatura do cadinho: maior teor de silício, redução do teor de manganês e maior basicidade da escória;
- injeção de massa carbonosa entre o bloco de carbono e carcaça, garantindo a refrigeração dos blocos (aumento da troca térmica);
- redução do diâmetro ou fechamento das ventaneiras nas regiões críticas;
- operação allcoke, redução do ritmo ou parada do Alto-Forno 1 em casos mais críticos;
- monitoramento e atuação na refrigeração da soleira.

2.6 Preparação do Cadinho para Retorno Operacional em 2018

Foram substituídos 21 blocos de carbono, mantendo o modelo do bloco utilizado na campanha anterior (bloco de carbono convencional).

Para reperfilamento do cadinho foram socados 29 t de massa de antracito, na Figura 9 é possível verificar o controle da espessura do material aplicado.

Foram realizados ensaios no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para conhecimento do coeficiente de dilatação da salamandra, visando definição do espaço vazio necessário entre salamandra e bloco de carbono, sendo o valor médio utilizado 150 mm.

CONTROLE DE ESPESSURA DE MASSA SOCADA NO CADINHO					
FIADA BC	ANEL DE CHAPA	ÂNGULO	MEDIDA (mm)	POSIÇÃO	
8	1ª	0º	320	NO MEIO DA FIADA	
		45º	200		
		135º	190		
		225º	340		
		270º	330		
		315º	100		
9	2ª	0º	310	BASE INFERIOR DA FIADA	
		45º	325		
		135º	375		
		225º	285		
		270º	290		
		315º	285		
9	3ª	0º	310	TOPO DA FIADA 9	
		45º	325		
		135º	375		
		225º	285		
		270º	290		
		315º	285		
10	4ª	0º	180	NO MEIO DA FIADA	
		45º	145		
		135º	300		
		225º	375		
		270º	300		
		315º	150		
11	5ª	0º	290	BASE INFERIOR DA FIADA	
		45º	345		
		90º	320		
		135º	405		
		180º	300		
		225º	350		
11	6ª	0º	290	TOPO DA FIADA	
		45º	380		
		90º	290		
		135º	320		
		180º	300		
		225º	320		
12	7ª	0º	330	TOPO DA FIADA	
		45º	320		
		90º	325		
		135º	330		
		180º	335		
		225º	340		
12	7ª	270º	335	TOPO DA FIADA	
		315º	350		

Figura 9. Espessura da massa de antracito no cadinho.

3 CONCLUSÃO

Em 2015, foi confirmada a preservação do cadinho do Alto-Forno 1 em sua 7ª Campanha, período entre 2010 e 2015, que não apresentou desgaste dos blocos refratários, que apresentaram suas propriedades preservadas e manteve a integridade da massa carbonosa socada.

O reparo realizado em 2009, no intuito de estender a campanha do alto-forno em cinco anos, se mostrou extremamente eficiente. O modo de instalação dos blocos, a socagem de massa e o capricho da equipe se mostraram adequados para este tipo de reparo. Além disso, a operação do Alto-Forno 1 ocorreu de maneira adequada, sem grandes distúrbios no processo. As práticas de monitoramento e as ações adotadas para controle das temperaturas se mostraram extremamente eficientes, sendo fundamentais para a preservação do cadinho.

Visto o sucesso do reparo realizado em 2010, foi utilizada a mesma metodologia de trabalho em 2017, visando o prolongamento da vida útil do Alto-Forno 1 por 7 anos.

REFERÊNCIAS

- 1 Fernandes, M. V.; Rocha, L.R. de C.; Carvalhido, A. C.; Martins, H. M. **COMPETITIVIDADE E LONGEVIDADE - OS DESAFIOS DO ALTO-FORNO 3 DA USIMINAS EM SUA 4ª CAMPANHA**, p. 399-410. In: *47º Seminário de Redução de Minérios e Matérias-Primas*, São Paulo, 2017. ISSN: 2594-357X, DOI 10.5151/2594-357X-30955.