

COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO FORNO WAE LZ*

Pablo dos Santos Pina¹
Rodrigo Alberto Moreira Gomes²
Daniel Henrique Soare³
Sergio De Azevedo Penchel Junior⁴
Livia Da Silva Mello⁵
Fabiano Mariel Fernandes Dos Santos⁶
Jose Carlos Pereira Dos Santos⁷
Claudio Alexandre Medeiros Lima⁸
Fernando Soares D´Almeida⁹
Luiz Flavio da Silva¹⁰
Francisco Freire¹¹
Ebenézer Gomes Cavalcanti Neto¹²

Resumo

O alto custo do coque na produção de zinco no Forno Waelz da Votorantim Metais Zinco, em Juiz de Fora, ensejou a realização de testes em parceria com o SENAI CIMATEC para utilização de combustíveis alternativos na Planta Piloto, com o objetivo de mapear a viabilidade técnica e financeira para utilização na Planta Industrial. Ao longo dos testes foram utilizados: cavaco de eucalipto, chip de pneu e moinha de carvão vegetal. Os testes foram realizados com sucesso, apresentando oportunidades de substituição do coque usado atualmente por combustíveis alternativos, com potencial de ganho financeiro para VMZ JF. Este potencial precisa ser validado em testes em escala industrial.

Palavras-chave: Forno Waelz; Cavaco de eucalipto; Chip de pneu; Moinha de carvão vegetal; Combustíveis alternativos; Óxido de zinco.

ALTERNATIVE FUELS IN WAE LZ KILN

Abstract

The high cost of coke in zinc production in Waelz Kiln, at Votorantim Metais Zinco (Juiz de Fora/MG) led to test alternative fuels in Pilot Plant, in order to map technical and financial feasibility for use in Industrial plant. During the project were tested: eucalyptus chips, tire chips, charcoal powder. The tests were carried out successfully, with replacement opportunities of the current coke by alternative fuels.

Keywords: Waelz kiln; Eucalyptus chip; Tire chips; Charcoal powder; Alternative fuels; Zinc oxide.

- ¹ Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia de Materiais, Gerente de Projetos de Tecnologia, Votorantim Metais Zinco, Juiz de Fora, MG, Brasil.
- ² Eng. mecânico pela UFMG 2000 e mestre em tecnologia mineral pela UFMG (2010), Gerente Corporativo de Tecnologia em Energia e Planejamento Estratégico da Votorantim Metais em Belo Horizonte, MG, Brasil.
- ³ Engenheiro de Produção, Pós Graduado em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Engenheiro Sênior de Tecnologia em Energia, Votorantim Metais, São Paulo, SP, Brasil.
- ⁴ Engenheiro Químico (UERJ), MBA Gerenciamento de Projetos (FGV), Consultor de Engenharia II, Desenvolvimento Tecnológico, Votorantim Metais Zinco, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.
- ⁵ Engenharia Metalúrgica, Engenharia Plena, Desenvolvimento Tecnológico, Votorantim Metais Zinco, Belo Horizonte, MG, Brasil
- ⁶ Engenheiro Metalúrgico, Pós Graduado Latu Sensu BMA, Engenheiro de Processo, Processo e Desenvolvimento, Votorantim Metais Zinco, Juiz de Fora, MG, Brasil.
- ⁷ Engenheiro de Produção, Black Belt, Especialista de Processos, Processos P&D, Votorantim Metais Zinco, Juiz de Fora, MG, Brasil
- ⁸ Engenheiro Químico, Gerente de Processos Químicos/Tecnologia e Processos, SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
- ⁹ Eng. Químico (UFBA), Consultor III, Depto. de Produtos Industriais, SENAI/CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
- ¹⁰ Engenheiro Mecânico, Engenheiro Pleno/ Consultor II/ Líder Técnico de projetos, Área de Desenvolvimento de Produtos e Processos Industriais - SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
- ¹¹ Engenheiro Químico, Engenheiro de Processos Químicos, Tecnologia e Processos, SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
- ¹² Engenheiro Mecânico, Bacharel, Especialista III, Desenvolvimento de Produtos e Processos Industriais, SENAI / CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do Processo

O Projeto Polimetálicos iniciou suas atividades no final de 2011 e é reconhecido tecnicamente e comercialmente. O projeto consiste em um tratamento pirometalúrgico para minérios e resíduos contendo baixo teor de zinco.

O processo baseia-se na redução do minério/resíduos e volatilização do zinco e outras substâncias. O material sólido final que não volatiliza, a escória, é resfriado na saída do forno e descartado. Os gases contendo o Zn são destinados pela depressão no forno a um sistema para tratamento dos mesmos, onde são resfriados para solidificação do material e posterior captação em filtros de manga. O metal volatilizado é levado pela corrente de gás gerada no forno e separado na forma de pó enriquecido com o metal desejado. O material recuperado é o Óxido Waelz (rico em zinco e chumbo).

Todo processo de redução/volatilização ocorre em um forno rotativo revestido internamente com refratários e ligeiramente inclinado, onde todo o material é alimentado na parte superior do forno e move-se lentamente no sentido da parte mais baixa devido à inclinação e movimento de rotação do forno. A mistura de alimentação é composta principalmente pela pelota (PAE + coque fino + água) e coque grosso. O aquecimento é realizado em contracorrente pelos gases quentes oriundos do queimador.

A pelota é produzida com o objetivo de reduzir o arraste de material sólido para o sistema de gases. Na sua composição o PAE é o material que contem Zn, ou seja, é a matéria prima, o coque fino é responsável pela redução do material e a água funciona como aglomerante. A função do coque grosso é ser o combustível do forno. O forno se divide em cinco seções distintas, onde a carga (mix) passa por zonas de tratamento até a sua zona de reação. São elas: Zona de Secagem do material, Zona de Pré-aquecimento e Combustão, Zona de Pré Reação, Zona de Reação Principal e Zona de Saída de Escória.

O material alimentado ao forno move-se lentamente para baixo devido ao seu movimento de rotação e é aquecido, em contracorrente, nas seções de Secagem e Pré-aquecimento, pelos gases quentes provenientes da volatilização, através da transferência de calor por convecção. Nas seções seguintes, além do calor dos gases, tem-se o calor gerado pelas reações químicas.

Após a Secagem e o pré-Aquecimento, zonas 1 e 2, a carga entra na seção de pré Reação, zona 3, onde o óxido de zinco é reduzido a zinco metálico pela reação com o monóxido de carbono (CO) que é gerado com a queima do coque. É nesta seção que os sais e os halogênios começam a volatilizar.

Na seção seguinte, zona 4, Reação Principal, o processo de redução do óxido de zinco intensifica e cerca de 70% do zinco é volatilizado. Na quinta e última seção ocorre a retirada da escória. Nesta seção o processo de volatilização cessa gradualmente e é onde ocorre, principalmente, a redução dos compostos de ferro. A temperatura da carga diminui devido à troca de calor com a massa de gás formada e a radiação através do orifício de saída do forno para a atmosfera. Nesta seção são consumidos cerca de 70% do oxigênio alimentado ao forno para a queima do carbono presente no coque.

O produto final do forno, Óxido Waelz, é retirado pela parte fria do forno, ou seja, na mesma zona por onde entra a alimentação. Nesta etapa do processo, o Óxido Waelz,

em função da depressão do forno, é levado para a Câmara de Sedimentação e demais etapas do tratamento dos gases, onde será coletado.

Os testes foram realizados em um forno Walez piloto (Figura 1), instalado na na planta piloto da VMZ JF. Os principais componentes da planta piloto são listados abaixo:

- Forno piloto (4,0m comprimento por 30cm diâmetro interno);
- Sistema de alimentação automatizado, com 2 balanças dosadoras;
- Queimador gás natural,
- Câmara de sedimentação;
- Ciclone;
- Filtro de mangas;
- Exaustor com inversor;
- Instrumentação: temperatura e pressão;
- Medidor portátil de gases e particulados.



Figura 1. Planta Piloto.

A figura 2 abaixo representa o fluxograma da planta piloto.

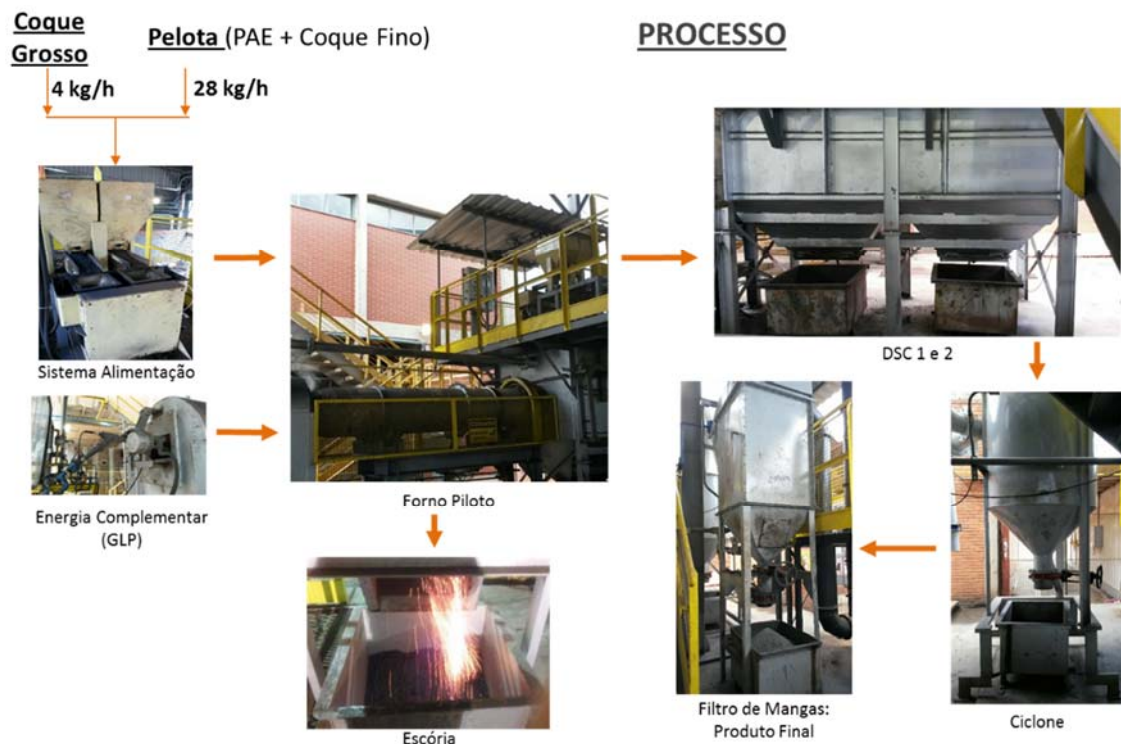


Figura 2. Fluxograma.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O teste foi fruto de uma parceria da Votorantim Metais com a instituição de pesquisa SENAI Cimatec, membro da Federação das Indústrias do Estado da Bahia, no âmbito da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI), pertencente ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI).

Os procedimentos utilizados ao longo dos testes, como procedimento de operação, parâmetros do processo, especificação dos combustíveis, análises das amostras, etc, tiveram como base os procedimentos já realizados no forno industrial.

As substituições pelos combustíveis alternativos foram feitas mantendo-se a base energética (ou seja, 1 kcal de coque foi substituído por 1 kcal do combustível alternativo). Logo, combustíveis com PCI menor acarretam em um maior volume de alimentação no forno.

Foi elaborado um simulador (figura 3) para uma análise prévia e elaboração dos procedimentos com cada combustível. O objetivo foi simular previamente as variações em cada zona de reação e a quantidade de substituição em cada teste.

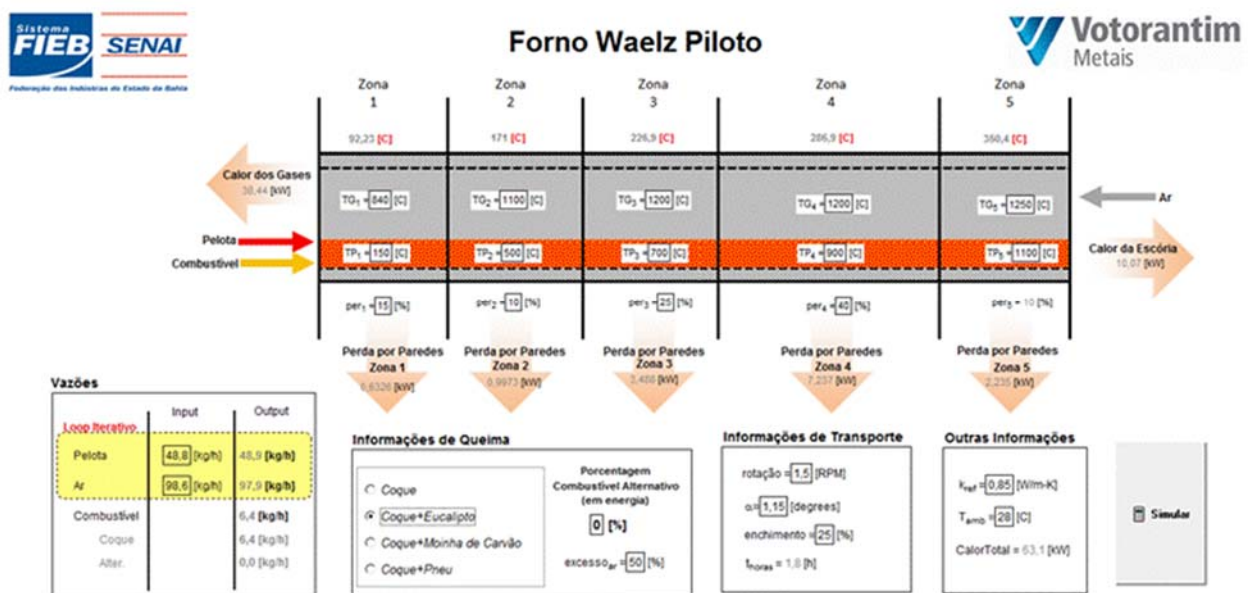


Figura 3. Simulador Planta Piloto.

O primeiro combustível testado foi o Coque grosso. Por ser o combustível utilizado no Forno Industrial e, portanto, já ter seu comportamento conhecido no processo. Esta primeira campanha de testes com coque grosso teve como objetivo promover os ajustes necessários nos parâmetros de processo da Planta Piloto. Os quais foram usados como referência para os testes com os demais combustíveis alternativos.

Os testes com os combustíveis alternativos compreenderam misturas com Coque grosso em diferentes taxas de substituição. Foram previstas, inicialmente, misturas com a concentração do combustível alternativo em 10%, 20%, 30% e 40% (base energia).

Os testes foram realizados de segunda a sexta-feira, com jornada diária de 24 horas (três turnos de oito horas).

Na Tabela 1 abaixo se encontra a sequência numérica prevista para os testes.

Tabela 1. Relação dos testes e seus objetivos

Testes	Combustível ou Mistura	Objetivo do teste
Teste 1	Coque grosso	Ajuste de parâmetros operacionais e referência para os demais testes
Testes 2	Coque grosso + Cavaco de Eucalipto	Avaliar o desempenho da Planta Piloto com a redução do coque por mistura com combustível alternativo
Testes 3	Coque grosso + Chip de Pneu	Avaliar o desempenho da Planta Piloto com a redução do coque por mistura com combustível alternativo
Testes 4	Coque fino + Moinha de Carvão Vegetal	Avaliar o desempenho da Planta Piloto com a redução do coque por mistura com combustível alternativo

2.1 Combustíveis Utilizados

2.1.1 Cavaco de eucalipto

Esta biomassa pode ser fornecida na forma de briquete, cavaco ou casca. Nos testes foi utilizado o cavaco de madeira, conforme figura 4.



Figura 4 Cavaco de Eucalipto.

2.1.2 Chip de pneu

O pneu pode ser fornecido de diversas formas (inteiro, granulado e chips de diversas espessuras).

Nos testes foram utilizados pneu com cerca de 5mm (figura 5) e PCI de 7.000 kcal/kg.



Figura 5. Chip de Pneu.

2.1.3 Moinha de carvão vegetal

A moinha de carvão vegetal é o resíduo de finos gerado do carvão vegetal após sua manipulação em siderurgias, carvoeiras, etc, devendo possuir a menor quantidade possível de cinzas.

É um combustível que apesar de ser muito fino tem uma excelente atratividade quanto ao custo. Face a granulometria muito fina foi definido pela Votorantim não testar a moinha como combustível, substituindo parte do coque grosso. A moinha foi utilizada como agente redutor na composição da pelota, em substituição ao coque fino.

As pelotas (figura 6) foram produzidas na própria Planta Piloto, utilizando o britador para reduzir a granulometria da moinha e adequá-la à especificação granulométrica do coque fino. Foi empregada uma betoneira para misturar o PAE, água e moinha, produzindo as pelotas para alimentação do forno.



Figura 6. Pelota produzida nos testes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Coque Puro

O teste com Coque puro teve como objetivo avaliar o comportamento da Planta Piloto com as melhorias implantadas para os testes e efetuar o levantamento dos parâmetros de processo/operação que serviram como base para os testes com os combustíveis alternativos.

Foram analisados os principais elementos para especificação do OW produzido no forno piloto: Zinco (Zn), Ferro (Fe), Flúor (F), Cloro (Cl), Óxido de Magnésio (MgO), Óxido de Cálcio (CaO) e Sílica (SiO₂). Para o teste escolhido como “Branco” para o Óxido Waelz o teor de Zinco (Zn) foi 53,92%, um pouco abaixo do valor especificado (>55,0%). Para os outros seis elementos os teores atenderam a especificação.

Quanto à escória este foi o melhor valor dos testes em branco, ficando o valor de 2,41% como referência para os testes com os outros combustíveis.

Os padrões de comparação do teste em branco é mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Padrões de Comparação a serem usados nos testes da Planta Piloto

ÓXIDO WAEELZ MELHOR TESTE EM BRANCO				ESCÓRIA MELHOR TESTE EM BRANCO			
% Massa	Especificação		Melhor Branco	% Massa	Especificação		Melhor Branco
	Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo	
Zn	>55		53,92	Zn	0,4	1	2,41
Fe	2	4	1,18	Fe	22	42	49,78
F		<5000	0,3718	MgO	1	14	4,51
Cl	4	8	1,76	CaO	8	25	8,72
MgO	0,1	0,3	0,08	SiO ₂	4	16	16,6
CaO		0,5	0,03				
SiO ₂	0,4	1	0,15				

Outra forma de avaliação dos testes foi através do comportamento de cada combustível. Essa percepção dos operadores, que muitas vezes não aparecem nos dados, foi importante para entender as variações ocorridas durante operação com cada combustível avaliado. Como por exemplo geração de fuligem, umidade, variação de temperatura, acreções, etc.

3.2 Coque + Cavaco de Eucalipto

Foram realizados testes com 20% e 30% em substituição ao coque pelo cavaco de eucalipto. Ao longo dos testes com biomassa, ocorreram algumas particularidades, não visualizadas em nenhum outro teste:

- A temperatura do forno aumentou, provavelmente devido a maior granulometria, fazendo com que o combustível ficasse mais tempo dentro do forno;
- Apesar da temperatura do forno ter aumentado, todo o sistema pós forno esfriou. O filtro de mangas operou com temperaturas baixas, ocorrendo geração de umidade e, conseqüentemente, influenciando negativamente nos resultados obtidos;
- Os voláteis presentes na biomassa também prejudicaram o teste. Ao longo do teste houve acúmulo de líquidos no filtro de manga e no ciclone;
- O motor do exaustor apresentou ruído e presença de líquido;
- Com a temperatura maior do forno, aumentaram as acreções, prejudicando a estabilidade de operacional e intensificando as paradas para limpeza do forno;
- Ocorreu aglomeração da escória e formação de aglomerados com tamanho significativo, os quais podem prejudicar a operação (figura 7);



Figura 7. Escória gerada no teste com biomassa a 30%.

Devido a alta umidade (cerca de 35%), todo o sistema pós forno ficou resfriado. Como a DSC (câmara de sedimentação) do forno Piloto é superdimensionada, esse combustível com alto teor de umidade tem maior potencial de gerar problemas operacionais no sistema piloto. Porém, no forno industrial existe um problema de controle de temperatura. Um combustível mais úmido pode ajudar a reduzir a temperatura na câmara de sedimentação, podendo ser interessante.

Outro ponto de atenção é a alimentação da biomassa. Há uma grande dificuldade nessa atividade, e para a utilização no Forno Industrial é necessário o desenvolvimento de um novo sistema de alimentação.

Ao final, os resultados de análises referentes ao OW não foram satisfatórios. O melhor resultado de zinco foi 47,7%, bem abaixo do registrado no teste em branco.

Com relação à escória o resultado do teor de zinco, 2,3%, foi melhor que o do teste em branco. Porém, muito provavelmente, devido a alta temperatura registrada no forno e na escória.

Os resultados dos testes substituindo 20% e 30% encontram-se na tabela 3 e tabela 4.

Tabela 3. Resultados Analíticos – Testes cavaco a 20%

18/07/2015 09:00						18/07/2015 13:30					
	Ox. WAELZ	Escória	Sedim 1	Sedim 2	Ciclone		Ox. WAELZ	Escória	Sedim 1	Sedim 2	Ciclone
Zn	37,75	11,08	18,47	18,98	21,49	Zn	40,68	18,28	17,69	19,22	21,55
Fe	1,59	39,17	26,77	25,25	21,06	Fe	1,782	37,37	27,95	23,73	21,71
Ag	0,017	0,009	0,009	0,008	0,0094	Ag	0,017	0,009	0,007	0,008	0,01
Pb	10,57	0,119	1,907	2,071	3,016	Pb	9,45	0,243	1,556	2,253	2,96
Cu	0,17	0,243	0,221	0,1952	0,185	Cu	0,167	0,174	0,174	0,197	0,203
Mg	0,107	2,475	1,962	0,036	1,625	Mg	0,122	2,28	1,88	1,838	1,625
Mn	0,099	2,19	1,486	1,9	1,257	Mn	0,111	2,05	1,44	1,431	1,275
Ca	0,358	5,737	4,662	1,421	4,074	Ca	0,406	4,37	4,437	4,38	4,11
Al	0,018	0,539	0,386	4,48	0,248	Al	0,021	0,419	0,419	0,321	0,274
F	0,129		1,62	0,311	2,71	F	0,1777	0,8326		1,19	2,02
Cl	14,11		2,8	1,12	5,11	Cl	13,75	0,5202		3,46	4,64
MgO	0,501	8,03	6,53	3,1	5,7	MgO	0,568	6,11	6,21	6,13	5,75
CaO	0,178	4,109	3,26	6,27	2,7	CaO	0,203	3,79	3,12	3,05	2,7
Al2O3	0,034	1,02	0,729	3,16	0,47	Al2O3	0,0396	0,79	0,791	0,61	0,52
SiO2	0,175		2,74	2,43	1,98	SiO2	0,156	5,89		2,43	1,97
Cd	0,18	0,0			0,06	Cd	0,16	0,0			0,06

Tabela 4. Resultados Analíticos – Testes cavaco a 30%

	26/08/2015 15:00			26/08/2015 16:30	
	Ox. WAELZ	Escória	Ciclone	Ox. WAELZ	Ciclone
Zn	42,78	7,18	36,86	47,74	35,12
Fe	0,6450	36,29	4,67	0,3700	5,09
Pb	5,55	0,484	5,45	5,94	4,83
Ag	0,005	0,011	0,007	0,005	0,006
Cu	0,033	0,226	0,07	0,043	0,065
Cd	0,125	0,001	0,121	0,126	0,104
Mg	0,068	2,71	0,584	0,042	0,704
Mn	0,052	2,24	0,4	0,031	0,453
Ca	0,191	5,71	1,529	0,15	1,78
Al	0,008	0,28	0,056	0,009	0,07
F	0,4332	-			
Cl	9,55	-			

3.3 Coque + Chip de Pneu

Foram realizados testes considerando a substituição de 20% e 30% em energia. Os testes com chip de pneu tiveram um ótimo desempenho. O forno trabalhou estável, sem grandes oscilações na temperatura e com isso foi possível manter estabilidade operacional e conseqüentemente bons resultados nas especificações do Óxido Waelz.

Diferente dos outros testes, onde o aquecimento sempre foi feito com 100% coque, nesse teste o aquecimento foi feito com uma mistura de 10% pneu. Isso gerou um comportamento diferente no forno, conforme descrito abaixo:

O forno se manteve aquecido em torno de 1.100°C.

- Ocorreu uma formação significativa de acreções, o que obrigou a uma maior frequência de limpeza do forno. Contudo, a acreção formada era de fácil remoção.
- O forno operou de forma estável em comparação ao teste realizado com coque puro, se mantendo aquecido e com pequena variação de temperatura em todos os pontos de medição.

- Um ponto de atenção foi a geração de fuligem durante a queima do pneu, quando ele foi queimado em baixas temperaturas. Porém, em nenhum momento, a fuligem contaminou o filtro de mangas.
- Não ocorreram eventos significativos de entupimento e problemas na balança;
- O teor de zinco no óxido (54,3%) ficou acima do teste em branco, dentro da especificação desejada para flúor, cloreto, MgO, CaO e sílica no Óxido Waelz.
- A escória obtida também atendeu a especificação desejada, em comparação ao teste em branco.

Os resultados do teste encontram-se na tabela 5.

Tabela 5. Resultados Analíticos da Planta

23/09/2015 11:00				23/09/2015 13:00			
	Ox. WAELZ	Escória	Ciclone		Ox. WAELZ	Escória	Ciclone
Zn	53,13	1,94	34,87	Zn	54,29	8,94	32,59
Fe	0,92	48,39	10,4	Fe	1,18	35,49	11,7
Ag	0,008	0,006	0,007	Ag	0,007	0,006	0,007
Pb	6,45	0,034	4,38	Pb	6,22	0,587	4,17
Cu	0,061	0,252	0,103	Cu	0,09	0,194	0,115
Mg	0,048	2,32	0,627	Mg	0,059	2,04	0,798
Mn	0,053	2,42	0,584	Mn	0,071	1,9	0,685
Ca	0,225	7,14	2,63	Ca	0,286	5,46	3,18
Al	0,01	0,6	0,098	Al	0,012	0,404	0,123
F	0,519	0,3828	2,47	F	0,4418	0,3912	1,88
Cl	8,65	0,177	6,36	Cl	8,3	0,406	5,65
C	3,56	0,0152	11,7	C	3,41	11,7	11,8
MgO	0,315	3,81	1,04	MgO	0,399	3,39	1,32
CaO	0,08	9,99	3,68	CaO	0,098	7,65	4,46
Al2O3	0,09	1,13	0,19	Al2O3	0,022	0,764	0,23
SiO2	0,3			SiO2	0,155		
Cd	0,12	0,0	0,14	Cd	0,12	0,0	0,21

3.4 Coque + Moinha de Carvão Vegetal

Inicialmente a moinha de carvão vegetal seria testada como substituto do coque grosso. Porém, devido a baixa granulometria, chegou-se a conclusão que esse teste não seria viável. Como alternativa, testou-se a substituição de 100% do coque fino pela moinha.

Dessa forma, a moinha de carvão vegetal foi utilizada para geração da pelota.

A preparação das pelotas foi feita na própria Planta Piloto, utilizando o britador para adequar a granulometria da moinha (granulometria não homogênea e acima da especificação), e a betoneira para produzir as pelotas.

A proporção usada para o preparo das pelotas foi a seguinte:

- 26,67 kg de PAE
- 1,68 kg de Moinha de Carvão vegetal
- 2,67 kg de água

Essa proporção considerou a substituição conforme carbono fixo de cada combustível (moinha 70% e coque 88%).

De forma geral, os testes com moinha foram muito semelhantes aos realizados no teste em branco. O forno se manteve estável, com poucas acreções.

Em termos de testes e análises, a moinha foi o que apresentou os melhores resultados. O forno ficou aquecido e estável, gerando Óxido Waelz e escória com qualidade esperada, somete o teor de flúor no óxido ficou ligeiramente acima da especificação.

Os resultados do teste encontram-se na tabela 6.

Tabela 6. Resultados Analíticos da Planta

10/10/2015 04:00				16/10/2015 16:00				17/10/2015 01:00			
	Ox. WAELZ	Escória	Ciclone		Ox. WAELZ	Escória	Ciclone		Ox. WAELZ	Escória	Ciclone
Zn	55,04	0,33	33,8	Zn	53,2	0,64	42,35	Zn	54,82	6,92	38,18
Fe	0,942	40,26	9,47	Fe	0,816	38,6	5,04	Fe	0,662	49,46	7,16
Ag	0,014	0,003	0,009	Ag	0,01	0,005	,--7	Ag	0,007	0,005	0,007
Pb	4,17	0,024	3,82	Pb	4,54	0,074	4,72	Pb	5,81	0,147	4,54
Cu	0,027	0,188	0,077	Cu	0,016	0,234	0,043	Cu	0,022	0,179	0,057
Mg	0,067	3,6	0,687	Mg	0,075	4,6	0,581	Mg	0,049	1,96	0,71
Mn	0,061	2,02	0,561	Mn	0,067	2,49	0,382	Mn	0,046	2,41	0,489
Ca	0,245	10,58	2,37	Ca	0,246	14,82	1,66	Ca	0,171	3,9	2,07
Al	0,016	0,802	0,094	Al	0,011	0,707	0,05	Al	0,008	0,171	0,058
F	0,6374	0,2938	1,3	F	0,4332	0,7646	0,96	F	0,5938	0,31	1,04
Cl	7,96	6,02	0,143	Cl	9,12	0,0715	7,81	Cl	7,69	0,1073	6,8
C	2,9	24,1	13,6	C	1,99	7,43	9,47	C	3,17	11,2	12,8
MgO	0,11	5,97	1,14	MgO	0,125	7,64	0,964	MgO	0,081	3,26	1,18
CaO	0,343	14,81	3,31	CaO	0,344	20,75	2,32	CaO	0,239	5,46	2,89
Al2O3	0,029	1,52	0,177	Al2O3	0,021	1,34	0,095	Al2O3	0,016	0,324	0,11
SiO2		8,76		SiO2		15,4		SiO2			
Cd	0,068	0,0	0,074	Cd	0,078	0,0	0,084	Cd	0,131	0,0	0,094

4 CONCLUSÃO

A reforma da Planta Piloto permitiu um melhor controle e estabilidade das operações na Planta Piloto do forno Waelz.

Ao longo dos testes ocorreram diversos imprevistos, que foram solucionados e mitigados pela equipe.

Fica evidente a necessidade de uma estabilização do processo para se obter resultados confiáveis. É necessário pelo menos 1 dia de operação estável para que os resultados sejam relevantes.

A Planta Piloto possui algumas diferenças em relação a planta industrial. Principalmente na temperatura após a saída do forno. Como a DSC foi superdimensionada, existe uma grande dificuldade em manter a temperatura alta. O que acaba acarretando em um menor rendimento no OW, uma vez que a temperatura do filtro de mangas fica abaixo da ideal.

O propósito do teste foi concluído com sucesso, e abaixo segue um resumo de cada teste realizado.

4.1 Testes com Moinha

A moinha apresentou excelentes resultados. O forno operou de forma estável, mantendo-se quente ao longo do teste.

As análises apresentaram ótimos resultados, chegando a ficar com rendimentos maiores que o do teste em branco (100% coque grosso e pelota com coque fino), com alto teor de zinco no Óxido Waelz e baixo teor de zinco na escória.

Conclui-se que a moinha em substituição ao coque fino foi uma substituição de completo sucesso.

4.2 Testes com Chip de Pneu

Os testes com o pneu foram bons, com resultados melhores que os do teste em branco quando utilizada uma taxa de substituição de 20% (base energia).

O forno se manteve aquecido acima do coque puro, ocorrendo uma maior formação de acreções. É provável que a acreção seja devido a maior temperatura atingida, e não ao resíduo do combustível em si.

O teor de zinco no óxido foi superior ao do teste em branco.

Os testes com chip de pneu a 20% foram um sucesso, com resultados melhores do que os testes em branco.

4.3 Testes com Cavaco de Eucalipto

Os testes com eucalipto apresentaram particularidades. O forno trabalhou com temperaturas acima dos outros testes, porém todo o sistema pós forno se esfriou. Apareceram líquidos no ciclone e no filtro, o que prejudicou os resultados. Dos combustíveis testados este apresentou resultados inferiores, quando comparados aos testes com chip de pneu e com moinha como agente redutor substituindo o coque fino na pelota.

REFERÊNCIAS

- 1 Documentos Internos Votorantim Metais Juiz de Fora.
- 2 GUIMARAES, J.R.G.; OLIVEIRA, J.M.; LIMA, L.B. – Tratamento de Poeiras de Aciaria Elétrica, São Paulo, 2011.
- 3 MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. – Propriedades de controle de qualidade do carvão vegetal. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982, p-75-90.
- 4 GARCIA, R.– Combustíveis e Combustão Industrial, Ed. Interciência, 2002