

RECICLAGEM INDUSTRIAL DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DE PELOTAS AUTO-REDUTORAS¹

André Tarcizo de Oliveira Vieira²

Fábio André da S. Nascimento³

João Henrique Echternacht⁴

José Ricardo de Oliveira⁵

Miguel Angelo da Gama Bentes⁶

Paulo Roberto Fusco⁷

Walter Luiz da Costa Reis⁸

Resumo

A partir de um problema ambiental, foi desenvolvido um processo de aglomeração para reaproveitamento dos óxidos de ferro contidos nos resíduos. O objetivo deste trabalho é mostrar o estado da arte desta rota tecnológica desenvolvida na CSN, onde resíduos siderúrgicos sólidos contendo óxidos de ferro e carbono, via pelota auto-redutora, são transformados em ferro líquido, também com aproveitamento de energia térmica disponível na usina Presidente Vargas. A caracterização metalúrgica dos resíduos, ou seja, dos subprodutos, é que possibilitou o desenvolvimento da nova tecnologia. Testes em laboratório e industriais possibilitaram comprovar a transformação dos óxidos de ferro em ferro metálico pelo processo de fusão/redução, permitindo a incorporação da carga ao gusa, além de avaliar os impactos ambientais gerados no novo processo. Com o desenvolvimento de um padrão para aplicação industrial, o processo foi implantado com recuperação do teor metálico da ordem de 95%. O rendimento de massa se apresentou em 50%, com previsão de ganho anual de R\$ 2 milhões, a partir da produção de 9000 t de metal líquido por ano.

Palavras-chave: Pelota auto-redutora; Reciclagem; Resíduos siderúrgicos; Redução.

INDUSTRIAL RECYCLING OF METALLURGICAL RESIDUES THROUGH THE PROCESSING OF PELLETS SELF-REDUCING.

Abstract

Starting from an environmental problema gathering process was developed for to recover the oxides of iron contained in the residues. The objective of this work is to show the technological route developed in CSN, where solid metallurgical residues contend oxides of iron and carbon, through pellets self-reducing, they are transformed in liquid iron, also with use of available thermal energy at CSN. The characterization metallurgical of the residues, called, by-products, it is that facilitated the development of the new technology. Tests in laboratory and industrial they facilitated to check the transformation of the oxides of iron in metallic iron for the fusion/reduction process, allowing the incorporation of the load to the pig iron, besides evaluating the environmental impacts generated in the new process. With the development of a pattern for industrial application, the process was implanted with recovery of the metallic text of the order of 95%. The mass revenue came in 50%, with forecast of annual gain of R\$ 2 million, starting from the production of 9000 t of liquid metal by year.

Key words: Pellets self-reducing; Recycling; Metallurgical residues; Reduction.

¹ *Contribuição técnica ao XXXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Coordenador de Projetos Especiais da CSN*

³ *Técnico de Desenvolvimento Especialista*

⁴ *MSc – Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN*

⁵ *MSc – Engenheiro Especialista da CSN*

⁶ *MSc – Gerente de Pesquisa&Desenvolvimento de Processos da CSN*

⁷ *Coordenador de Dessulfuração de Gusa da CSN*

⁸ *DSc – Gerente Geral de Laminados a Quente*

1 INTRODUÇÃO

Civilizações antigas, da Mesopotâmia, Índia e Grécia já davam algumas destinações aos seus resíduos. Algumas cidades tinham uma espécie de gerenciamento de seus lixos, os quais eram estocados, transportados e depositados nos subúrbios. Contudo, essas práticas de gerenciamento não foram suficientes para livrar as sociedades do incômodo de seus lixos.

Com a Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, ocorreu a intensificação da produção de bens, abrindo espaço para o consumo em massa. Após a Segunda Guerra Mundial houve uma crescente urbanização das cidades ocorrida pelo êxodo das populações rurais. O crescimento da população intensificou o abastecimento de bens de consumo. Isso foi possível devido aos avanços tecnológicos proporcionados pela Revolução Industrial.

O aumento de produção de bens de consumo foi garantido pelas inovações nos meios produtivos e no acondicionamento dos produtos, garantindo a sua durabilidade. O consumo crescente agravou ainda mais um dos grandes problemas ambientais da atualidade: os resíduos.

Segundo a norma ABNT NBR 10.004 resíduos são materiais decorrentes de sobras de processos ou são aqueles que não podem ser utilizados com a finalidade para as quais foram originalmente produzidos.

No processo de siderurgia não é diferente do conceito geral de resíduos, sendo elevado o volume de subprodutos gerados e diversificado pelas características.

1.1 Panorama de Resíduos Siderúrgicos da CSN

As siderúrgicas integradas geram diversos tipos de resíduos sólidos em grande quantidade. Entre estes resíduos temos os recicláveis contendo ferro, os finos de coque e as escórias. Entre os recicláveis contendo ferro estão: as poeiras e lamas de alto-forno e aciaria; as carepas de lingotamento contínuo, de escarfaagem e de laminação; o óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida; dentre outros.

Dentre as lamas, as de alto-forno e aciaria, apesar do alto teor de ferro, são disponibilizadas para venda por conterem compostos indesejáveis aos processos usuais de siderurgia na CSN. Assim, conforme Figura 1, a maior parte de volumes de resíduos da UPV-CSN são comercializados.



Figura 1 – Distribuição dos Resíduos gerados em 2005 na Usina Presidente Vargas - CSN

A recuperação do conteúdo metálico contido nestes resíduos sólidos passou a ser um importante desenvolvimento tecnológico, tanto do ponto de vista das restrições legais impostas pelas legislações relativas à proteção do meio ambiente, quanto do ponto de vista econômico.

Como consequência, os resíduos hoje são considerados co-produtos e o processo de reciclagem passou a ser encarado como um “negócio”.

Neste contexto a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN – lançou em 2005 um projeto pioneiro na siderurgia nacional: uma planta piloto de pelotização de resíduos desenvolvida a partir da análise crítica das tecnologias de reciclagem de resíduos já existentes e de experimentos laboratoriais.

Esta iniciativa foi estruturada pela análise de processo, elaborada em função das limitações das matérias-primas quanto a sua utilização. O projeto dedicou-se inicialmente ao desenvolvimento das pelotas aglomeradas a frio, com base em ligantes químicos, chegando ao atual processo de pelotas auto-redutoras, que apresenta desempenho metalúrgico e econômico superior às versões anteriores.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO

A metodologia empregado no desenvolvimento do trabalho foi:

- caracterização das matérias primas
- desenvolvimento do processo de aglomeração
- aspectos dos processos de redução direta
- testes laboratoriais de desenvolvimento da pelota auto-redutora
- desenvolvimento de equipamentos
- aplicação em processo industrial de fusão/redução
- implantação do processo industrial.

2.1 Caracterização das Matérias-Primas

A Tabela 1 mostra as matérias-primas possíveis para utilização na produção de aglomerados na CSN:

Tabela 1– Características da matérias primas (em %, exceto indicações)

Resíduos	Geração (t/mês)	SiO ₂	AL ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Fet	FeO	Fe met	C	Zn	Umidade
PÓ SISTEMA 7 ACIARIA	150	1,11	0,32	3,74	0,44		62,39					1
LAMA FINA ACIARIA	8.000	1,76	0,11	9,09	2,67	70,9	61,49		10,62	0,2	0,80	45
PÓ SISTEMA 6 ACIARIA	30	8,58	30	10,40	8,36		7,26					1
PÓ DE BH ACIARIA	310	2,30	0,5	12,70	1,60	75	52,50			0,2	0,30	1
LAMA ETE LTQ2 (*)	1.200	1,10	0,9	0,10	0,20	85,7	60,00			9,0	0,05	55
PÓ SALA CORRIDA	360	2,90	3,5		1,10	89,4	62,60				0,07	0,5
LAMA ETEQ (**)	4.200	4,76	0,74	9,36	1,41	43,9	35,00	5,52	0,00	5,0	0,08	50
CAREPA	11.000	0,39	0,13	0,23	0,02	32,4	73,80	65,70	0,27	0,7	0,06	5
PÓ DE COLETOR	4.000	8,30	1,61	11,80	0,82	26,8	29,32	13,50	0,14	23		8
PÓ DE CAL	120			95,00								0,5
PÓ DE PRECIP.PRIMÁRIO	1.200	8,00	2	11,00	1,50	58	43,00	3,00	0,01	3		1
PÓ VARRIÇÃO DA CASA DE ESTOCAGEM ALTOS-FORNOS	900											0,5
LAMA DE ALTO DE FORNO	7.143	12,00	3,5	18,70	3,50	43,8	46,86	12,00	7,80		0,11	30
URA PR CSN (***)	150					98						1

(*) ETE LTQ2 = Estação de Tratamento de Efluentes do Laminador de Tiras a Quente 2; (**) ETEQ = Estação de Tratamento de Efluentes Químicos; (**); URA PR = Unidade de Regeneração Ácida no Paraná, com geração de resíduos do tratamento de ácido da decapagem.

2.2 Desenvolvimento do Processo de Aglomeração

Foram avaliadas várias tecnologias consolidadas de beneficiamento e agregação de valor para resíduos e dentre estas a pelotização se mostrou mais vantajosa para utilização na CSN. A Tabela 2 sumariza tal comparação para o caso da CSN.

Tabela 2 – Processos de aglomeração

TECNOLOGIAS CONSOLIDADAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS				
	Uso direto na sinterização	Briquetagem	moldagem	Pelotização
Processo	Adição à Mistura	compressão em rolo moldador	Acomodação por vibração e cura	Pelotamento e sinterização
Controle de operação	Fácil	Fácil	Fácil	Relativamente Fácil
Ligantes	nenhum	melaço cimento	cimento sulfato	CMC, acrilatos bentonita, cal
distribuição granulométrica	0,1 a 5 mm	heterogênea	heterogênea	fina (>900cm ² /g)
produtividade	sem efeito	baixa	baixa	alta
volume de escória	médio	alto	médio	baixo
contaminantes	Zn, álcalis	depende do ligante	depende do ligante	depende do resíduo
custo	baixo	alto	alto	baixo

O processo inicial de reciclagem foi desenvolvido a partir do processo de pelotização a frio, utilizando ligantes químicos, e atualmente a produção é com aglomeração convencional para produção de pelotas verdes, conforme figura 2.

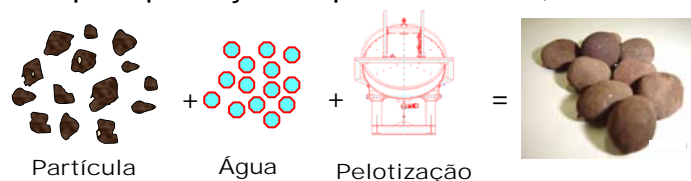


Figura 2 – Processo de aglomeração por pelotização

2.3 Aspectos dos Processos de Redução Direta

Na siderurgia mundial tem sido cada vez mais fundamental o desenvolvimento de tecnologias alternativas de redução, principalmente na reciclagem de resíduos siderúrgicos. Podemos classificar estas tecnologias da seguinte maneira:

Fusão-redutora (*bath smelting*) – Os óxidos de ferro, dissolvidos em banhos metálicos e/ou em escórias líquidas, são rapidamente reduzidos pelo carbono, produzindo metal líquido. Redução sólida (leitos fluidizado e fixo) – Por meio de reações gás-sólido, gases redutores (H₂, CO) promovem a redução dos óxidos, produzindo ferro-esponja.

Auto-redução – A reação do tipo sólido-sólido ocorre de fato via intermediários gasosos no interior dos aglomerados (finos de minério e materiais carbonosos), produzindo metal líquido ou ferro-esponja. O contato íntimo entre as partículas e a ausência de N₂ resulta em reações muito rápidas.

Existem diversos processos emergentes baseados nestas tecnologias que podemos citar como principais: Ausiron, Dios, Hismelt, Corex, Finex, Romelt, Cicored/Circofer, Finmet, Hyl, Midrex, Primus, Processos RHF, Itmk3, Iron Carbide, Tecnoled e Oxicup, dentre os descritos na literatura aberta.

Tais processos foram desenvolvidos para média e grande escala, enquanto o processo da CSN é para pequena escala de produção.

2.4 Testes Laboratoriais de Desenvolvimento da Pelota Auto-redutora

O conceito introduzido no projeto foi o de aplicação de redutor sólido, aproveitando o carbono contido nos próprios resíduos, atuando nos óxidos de ferro da pelota verde produzida a frio. Diversas oportunidades de fonte de calor foram avaliadas considerando os mínimos impactos ambientais e de rendimento dos processos siderúrgicos. As opções recaíram sobre operações com banho de metal quente e que possibilitassem a alimentação com pelotas verdes e secas.

Assim, a simulação deveria levar em consideração o rápido aquecimento das pelotas e a atmosfera das reações. Estas condições foram criadas em testes de carga num banho de gusa líquido, conforme descrição a seguir.

A mistura para composição das pelotas é mostrada na Tabela 3, em base seca, onde a relação carbono fixo / óxidos de ferro foi visada em 0,21.

Tabela 3 – composição das pelotas testadas em escala laboratorial

Matéria prima	Proporção
URA Paraná	20 %
Carepa	20 %
Resíduos de moinha de coque	20 %
Pó de precipitador Eletrostático	40 %

Num forno tipo Tammann (Figura 3), com um cadinho de grafite e proteção por argônio (4 l/min) durante o aquecimento, uma massa de gusa, escória e pelota foi fundida e mantida na temperatura de 1450°C (+/- 10 °C). Decorridos 5 minutos, o forno foi desligado e deixado com a amostra em resfriamento.

Conforme Figura 4, as pelotas foram carregadas fragmentadas para simular a relação entre a área superficial das pelotas e o volume do banho. A massa total da mistura gusa, escória e pelotas era da ordem de 400 g. A massa de pelotas foi 2% do total da mistura.



Figura 3 – Vista geral do forno Tammann



Figura 4 – Materiais a serem fundidos

Após solidificação do banho, a massa de escória era removida da superfície, o cadinho com gusa era desmontado, as massas pesadas e preparadas para análise química. As Figuras 5 e 6 mostram os aspectos dos materiais produzidos em um dos testes.



Figura 5 – Gusa solidificado no cadinho



Figura 6 – Escória resultante do processo

Tanto na avaliação gravimétrica como pelo balanço de ferro, o rendimento de incorporação metálica obtido nos testes foi da ordem de 99%. Comparando com a literatura, é possível afirmar que os resultados obtidos eram esperados.

O rendimento de conversão (Fe do óxido para o banho como Fe metálico), para uma temperatura de 1250 °C, conforme exemplo da Figura 7, atinge mais de 80% em 7 minutos numa atmosfera de CO. No caso de atmosfera de N₂ e para temperatura de 1300 °C, conforme Figura 8, atinge 80% de conversão metálica em menos de 20 minutos. Pode se admitir um menor tempo de conversão para 1450 °C.

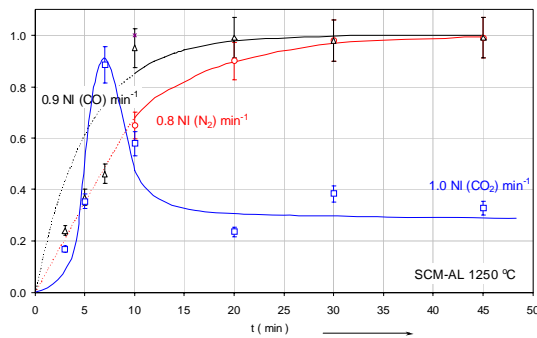


Figura 7 - Efeito do tipo de atmosfera externa e tempo na conversão metálica (T: 1250°C)

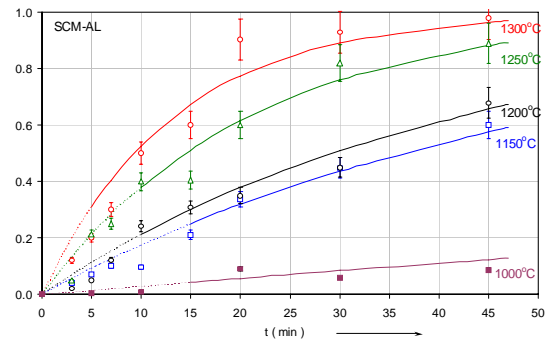


Figura 8 - Efeito da temperatura e do tempo na conversão metálica (N₂: 2,50 l.min⁻¹)

Com os resultados dos testes laboratoriais e otimizações introduzidas, definiu-se uma rota tecnológica de aplicação de pelotas auto-redutoras, conforme premissas econômicas e metalúrgicas visadas. A metodologia e o processo, conforme aplicação na CSN, foram registrados como patente industrial.

2.5 Desenvolvimento dos Equipamentos

A unidade de pelotização de resíduos é composta por diversos equipamentos desenvolvidos e construídos internamente na CSN. O reaproveitamento de componentes e peças, além de um desafio vencido, possibilitou uma redução expressiva nos custos de instalação. Os seguintes equipamentos são pertencentes a unidade piloto:

- Silo balança para capacidade de até 600 kg e balança eletrônica, para até 50 kg.
- Misturador simples de pás (equipamento reaproveitado)
- Silo dosador (equipamento reaproveitado da antiga Fundação CSN)
- Prato Pelotizador de 3m de diâmetro (fabricado na CSN)
- Forno secador (desenvolvido e fabricado pela CSN)
- Forno rotativo para queima da pelota (desenvolvido e fabricado na CSN)

- Correias transportadoras (equipamentos reaproveitados de várias unidades desativadas)

A unidade piloto de pelletização de resíduos pode produzir diferentes tipos de pelotas, apresentando flexibilidade para o desenvolvimento de diferentes produtos e aplicações. O forno rotativo não é utilizado para a produção de pelotas auto-redutoras. Na Figura 9 é descrito o diagrama dos equipamentos utilizados para este projeto.

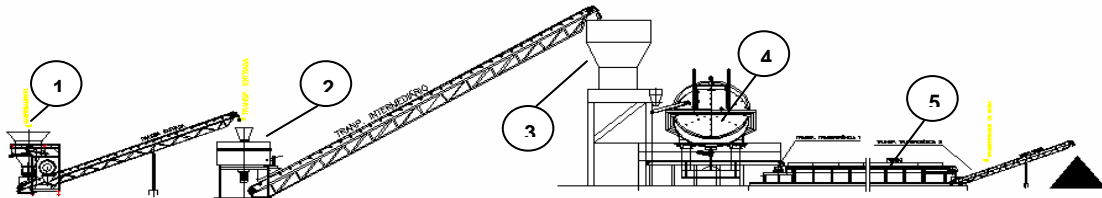


Figura 9 – Diagrama da planta piloto de pelletização de resíduos (1- silo balança, 2 - misturador, 3 - silo dosador, 4 - prato pelletizador e 5-forno secador)

2.6 Aplicação em Processo Industrial de Fusão/Redução

Conforme Figura 10, o processo desenvolvido apresenta também algumas diferenças em relação aos processos convencionais de redução direta, conforme as tecnologias já descritas anteriormente. A primeira diferença é que a pelota auto-redutora é obtida sem moagem das matérias-primas, conforme concepção inicial do projeto quando a queima se dava em forno rotativo, visando à maior resistência mecânica para aplicação da pelota num reator siderúrgico (alto-forno e aciaria). A segunda está associada à fonte majoritária de calor, a qual é derivada de energia térmica marginal: calor disponível na massa refratária do carro torpedo retornando vazio da aciaria (1) . Com parte do carbono contido contribuindo no aquecimento da pelota, a temperatura da mesma é elevada rapidamente e ocorre o processo de redução/fusão (2 e 3), gerando ferro metálico líquido que é incorporado ao gusa carregado dos altos-fornos (4).

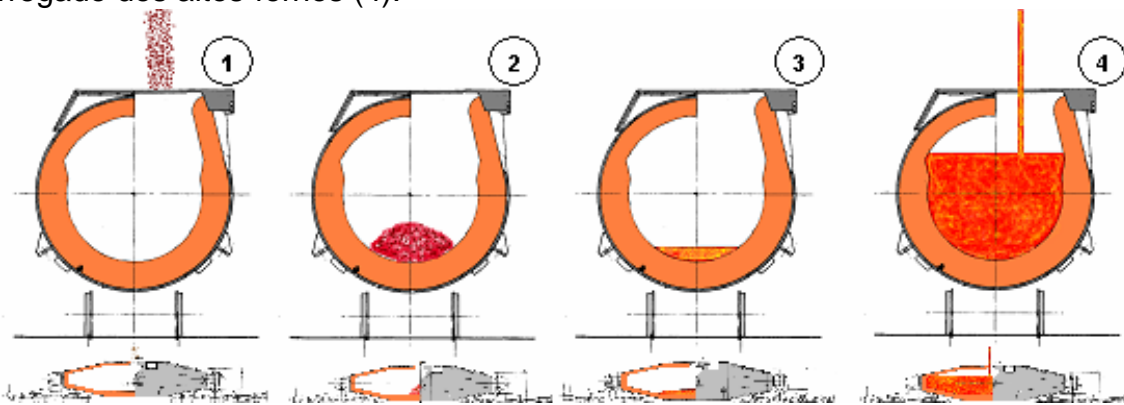


Figura 10 – Sequência simplificada do processo de adição em carro torpedo

3 APLICAÇÃO INDUSTRIAL EM CARRO TORPEDO

3.1 Teste Industrial de Fusão/Redução em Carro Torpedo

Foi realizado um teste de carga em carro torpedo (CT) com objetivo de analisar possíveis emissões de fumos para atmosfera e verificar o comportamento das pelotas auto-redutoras no interior do CT vazio após 40 min.

Para o teste foi utilizado uma carga de 2 t de pelotas auto-redutoras, secas, conforme composição testada em laboratório. O carregamento foi monitorado por especialistas de engenharia do meio ambiente e não foi observada nenhuma emissão significativa. A massa de pelotas foi carregada numa altura de 3 m, conforme Figura 11, iniciando aquecimento com o calor disponível no carro torpedado. A Figura 12 mostra o momento imediato à carga no CT.

Ao descarregar o carro torpedado foi verificado que ocorreu fusão/redução do material (Figura 13). A fusão/redução do material foi ocasionado pelas condições termo-redutoras no interior do CT, considerando que o carbono contido na pelota auto-redutora foi capaz de contribuir na manutenção da temperatura no interior do CT (~1000°C) e reações de redução. O produto resultante da fusão/redução do teste mostrou, conforme análises, 92% de Fe total sendo 88% de Fe⁰. Não foi observado o fenômeno de grafitização na descarga do metal líquido.



Figura 11 – Carregamento de pelotas auto-redutoras no carro torpedado

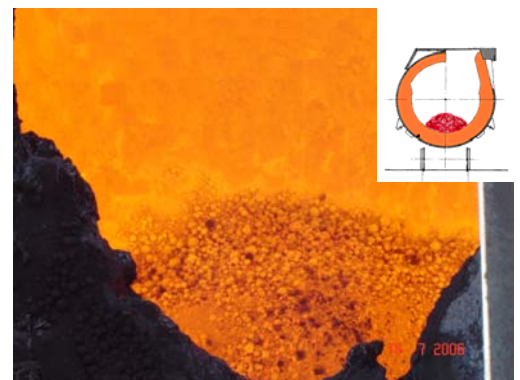


Figura 12 – Pelotas em aquecimento no interior do carro torpedado.



Figura 13 – Descarga do metal formado

Após o teste de adição foi realizado o teste de carregamento de gusa no alto-forno 3. Durante o carregamento de gusa, não foi observado projeção e/ou efervescência no gusa dentro do CT. A incorporação da fase líquida formada a partir da fusão/redução da pelota auto-redutora no gusa foi evidenciada pela não formação de uma segunda fase sobrenadante.

3.2 Teste Industrial de Carregamento Contínuo de Pelotas Auto-redutoras

Foi selecionado um carro torpedado (CT nº 02) para carregamento durante 30 dias na estação de retenção de escória, para análises de adição e monitoramento de desgaste refratário. Durante o período de carregamento não foi verificado nenhuma anormalidade no refratário do CT e as temperaturas da carcaça do carro torpedado se

encontraram dentro das expectativas de utilização. A Figura 14 mostra uma seqüência de carregamento do CT 02.



Figura 16 – Sequência de carregamento do CT nº 02

No gráfico da Figura 17 se encontra os valores médios da temperatura na zona de impacto e a figura 18 mostra uma análise termográfica deste CT.

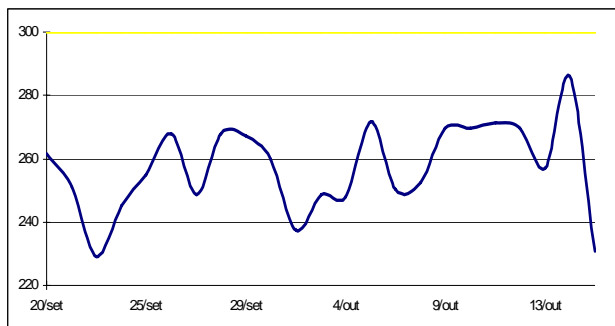


Figura 17 – Variação dos valores médios da temperatura (°C) de carcaça do CT nº 02

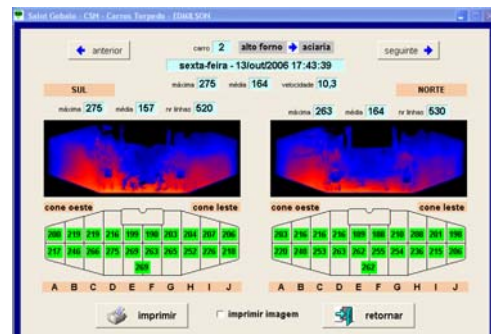


Figura 18 – Análise termográfica típica do CT nº02

A Figura 19 demonstra que a adição das pelotas não interfere na qualidade do gusa produzido pelos altos-fornos e que, comparando os dados com dois outros carros- torpedos, podemos verificar que não existe nenhuma influência específica no carro torpedo nº 02.

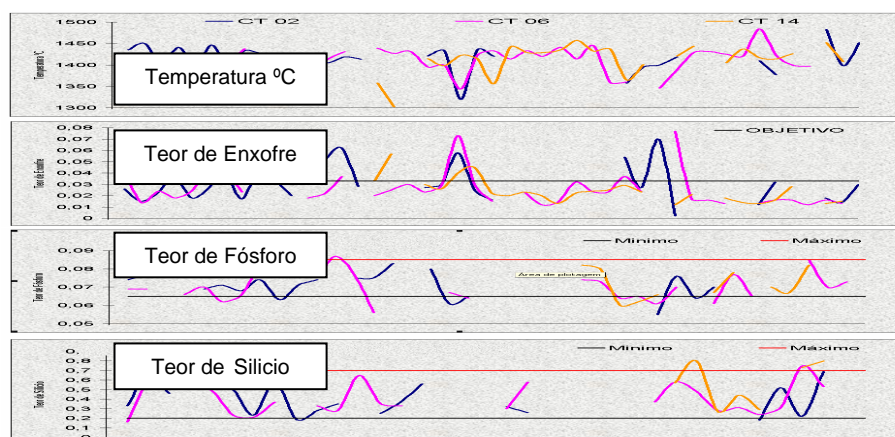


Figura 19 – Valores da temperatura do gusa, teores de enxofre, fósforo e silício no período de 30 dias de carregamento do carro torpedo nº 02 e outros dois CT's sem adição de pelotas auto-reductoras.

4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A planta de pelotização com um baixo investimento é capaz de produzir 1500 t/mês, Para cada tonelada de pelota auto-redutora adicionada no carro torpedo é gerado 0,5 tonelada de gusa.

O gusa gerado no carro torpedo entra em substituição a sucata no processo de aciaria na seguinte relação:

- Relação gusa / sucata = 94% / 99% (de ferro)

Tendo-se, o ganho anual é de **R\$ 2,05 milhões/ano**.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido é encorajador e mostra que a utilização de resíduos aglomerados em pelotas com alto teor de carbono podem ser adicionados em carros torpedos para incorporação ao gusa dos altos-fornos. As pelotas auto-redutores devem ser carregadas no carro torpedo vazio, assim enquanto aguarda o carregamento do gusa do alto forno acontecerá a redução/fusão. A construção segue a mesma metodologia empregada na construção da planta de pelotização, ou seja, reaproveitamento de equipamentos desativados na usina. O silo foi reaproveitado da antiga fundição e a correia transportadora da desativada sinterização 1.

6 CONCLUSÕES

- A pelota auto-redutora é constituída de 100% de resíduos;
- Os testes demonstraram que a fusão/redução é satisfatória com a adição em CT, possibilitando uma boa recuperação de ferro das pelotas auto-redutoras quando submetidas a altas temperaturas;
- Para cada tonelada de pelota auto-redutora será incorporado 0,5 tonelada de metal ao gusa;
- Além da perspectiva econômica, a implantação do projeto trouxe relevantes ganhos ambientais;



Figura 20 – Estação de adição de pelota auto-redutora em carro-torpedo

- O leito de pelotas protege a superfície do refratário do CT durante o carregamento de gusa;
- Não foi observado perda de temperatura no CT após carregamento das pelotas auto-redutoras;
- O processo mostra-se capaz na utilização de lamas que são comercializados, devido a restrição técnicas na siderurgia;
- O projeto permite minimizar a exploração das reservas naturais de minérios e combustíveis fósseis no processo siderúrgico, através da utilização mais eficiente do conteúdo de ferro e carbono presentes nas matérias primas;

- O reaproveitamento de componentes e peças, para o desenvolvimento da unidade piloto e estação de adição, além de um desafio vencido pela engenharia, possibilitou uma redução expressiva nos custos da instalação;
- Devido a eficiência energética do processo, a partir do aproveitamento do carbono contido nos resíduos, este processo possibilita a geração de créditos de carbono, conforme protocolo de Kyoto;
- A economicidade do processo permitiu uma aplicação em escala industrial, sendo montada a estação de carga próxima ao poço de gusa (*kish pit*), já em operação em 2007.

BIBLIOGRAFIA

- 1 COSTA REIS, WALTER LUIZ; VIEIRA, ANDRÉ TARCIZO DE O.; ECHTERNACHT, JOÃO HENRIQUE; OLIVEIRA, JOSÉ RICARDO; LONGO, ELSON – Estudo da influência das Diferenças de temperatura na variação da resistência mecânica de pelotas de resíduos queimadas e forno rotativo aberto – XXXVI Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas, ABM. Ouro Preto, Setembro de 2006.
- 2 COSTA REIS, WALTER LUIZ; VIEIRA, ANDRÉ TARCIZO DE O.; ECHTERNACHT, JOÃO HENRIQUE; OLIVEIRA, JOSÉ RICARDO; LONGO, ELSON – Produção piloto de pelotas a partir da lama fina de aciaria LD e óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida da CSN – XXXVII Seminário de Aciaria ABM. Porto Alegre, Maio de 2006.
- 3 ASSAD, MARTA M. NOGUEIRA – Sustentabilidade: um estudo sobre a responsabilidade social do gerenciamento de resíduos sólidos industriais no Médio Vale do Paraíba – Tese de mestrado, Taubaté, 2003
- 4 OLIVEIRA, E. R., MARTINS, J. – Emprego de Resíduos Siderúrgicos e Pellet Feed Micropelotizados na Sinterização de Minério de Ferro – R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(4): 249-254, out-dez 2003.
- 5 NOLDIN JR, JOSÉ HENRIQUE; D'ABREU, JOSÉ CARLOS; MARTINS, KARLA DE MEO MARTINS; RODRIGUES FILHO – Cinética de Redução de Briquetes Auto-Redutores – Seminário de Auto-Redução e Aglomeração a Frio do 58º Congresso Anual da ABM. Julho de 2003.
- 6 BENTES, M.A.G., ECHTERNACHT, J.H, OLIVEIRA, J.R, VIEIRA, A.T.O. – Desenvolvimento de pelotas auto-redutoras composta de resíduos siderúrgicos – Relatório interno do Centro de Pesquisas da CSN, 2006
- 7 NASCIMENTO, RAMIRO C., et al. – The Self-Reduction Technology For Recycling of Solid Wastes In An Integrated Steelmaking Plant : A Sustainable Alternative. – Materials Transactions - vol. 42, no. 12, 2506-2510, 2002.
- 8 ZUO, GUANGQING – Softening and Melting Characteristics of Self-fluxed Pellets with and without the Addition of BOF-slag to the Pellets Bed – ISIJ International, vol. 40 (2000), No. 12, pp. 1195-1202.
- 9 TAKANO, CYRO, et al.- Reciclagem de Resíduos Siderúrgicos Sólidos – Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2000
- 10 LANDOW, M.P., et al – An Overview of Steel Mill Waste Oxide Recycling by Cold Bonded Roll Briquetting, Ironmaking Conference, ISS, 1998.
- 11 ROBERTO G. F. R. GONZALEZ; Flávio R. S. De Azevedo; Antônio Vilela; Heinrich W. Gudenau – Influência da granulometria no perfil radial da mistura de pelotas e carvão utilizado na redução direta em forno rotativo – XXXVIII Congresso Anual da ABM – São Paulo - 1983
- 12 Norma ISO 4700 – Iron ore pellets – Determination of crushing strength.
- 13 Norma ABNT 10.004 - Resíduos Sólidos - Classificação