



BENEFICIAMENTO E COMERCIALIZAÇÃO DOS RESÍDUOS REFRATÁRIOS GERADOS NA USINA PRESIDENTE VARGAS (UPV) DA CSN¹

*Sidiney Nascimento Silva*²
*André Tarcizo de Oliveira Vieira*³
*Fernando Vernilli Junior*⁴
*Robersio Marinho de Faria*⁵
*Fernando Fernandes da Silva*⁵
*José Milton Gabriel Lopes*⁵
*Leonardo Kenji Fudo Naito*⁵
*Daniele Fonseca de Lima*⁶

Resumo

A manutenção dos diversos equipamentos siderúrgicos da UPV resulta na geração anual de cerca de 10 – 11 mil toneladas de resíduos refratários. Ancorado nas diretrizes da Política de Meio Ambiente da CSN, o presente projeto teve como principais objetivos agregar valor e promover a destinação adequada aos resíduos refratários gerados na UPV. Isso envolveu o seu beneficiamento, utilizando-se a capacidade ociosa da Planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e Demolição, implantada recentemente na UPV, visando à sua comercialização com a Indústria de Refratários. O projeto foi desenvolvido pela CSN através de Convênio de Cooperação Técnica e Econômica com a Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP, com a participação da Magnesita Refratários S.A., Indústria de Refratários, e compreendeu as seguintes etapas: i) avaliação preliminar, ii) pesquisa e desenvolvimento, iii) transporte, manuseio e processamento e iv) aplicação, validação e implantação. A implantação do projeto, através de uma solução integrada, mostrou-se viável técnica e financeiramente, com um retorno econômico da ordem de R\$ 1,8 milhão em termos de valor presente líquido, além da minimização dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Resíduos refratários; Reciclagem; Refratário.

PROCESSING AND COMMERCIALIZATION OF REFRACTORY WASTES GENERATED AT CSN-UPV, VOLTA REDONDA WORKS

Abstract

Maintenance activities of several siderurgical equipments from UPV generate annually a huge amount of refractory wastes, around 10 – 11 thousand tons. Anchored at the guidings of Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) Environmental Policy, the present project had as main purposes to aggregate value and promote appropriated destination to the refractory wastes generated at Usina Presidente Vargas (UPV), Volta Redonda, RJ, Brazil, through its processing by using the idle capacity of an existing recycling plant of demolition waste materials from civil construction, recently started up at UPV, aiming its commercialization with Refractories Industry. The project was developed by CSN through technical and economical agreement with Engineering School of Lorena of University of São Paulo – EEL-USP, with also the participation of Magnesita Refratários S.A, Refractories Industry, comprising the following steps: i) preliminary evaluation, ii) research and development, iii) transportation, handling and processing and iv) application, validation and implementation. The implementation of this project, through an integrated solution, was technically and economically feasible with a return on investment in terms of net present value around R\$ 1.8 million besides minimizing the environmental impacts.

Key words: Refractory waste; Recycling; Refractories.

¹ *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Eng. Civil, Ph.D., Gerente de Processos da Metalurgia da CSN.*

³ *Eng. Químico, Coordenador de Projetos Especiais da CSN.*

⁴ *Eng. Químico, Ph.D., Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da EEL-USP.*

⁵ *Aluno de Graduação do Curso de Engenharia de Materiais da EEL-USP.*

⁶ *Eng. Química, Ph.D., Coordenadora de Reprocessados da Magnesita Refratários S.A.*



1 INTRODUÇÃO

As indústrias de produção e transformação de materiais geram, em maior ou menor grau, resíduos, que nem sempre têm uma destinação de re-utilização ou uma disposição ecologicamente adequada. Entretanto, em alguns casos esses resíduos podem ser re-utilizados como matérias-primas em outros processos industriais. Assim, eles perdem seus rótulos de poluentes e encontram novas aplicações, com elevados valores agregados, com benefício para toda a sociedade e proteção do meio ambiente.⁽¹⁾

No contexto do equilíbrio entre o consumo e a conservação dos recursos minerais, energéticos e ambientais, a reciclagem de materiais exerce um papel importante na preservação das escassas jazidas de matérias-primas brutas, na diminuição da poluição indiscriminada e no racionamento de energia, gerando um ritmo de produção de matéria-prima básica mais adequado ao ritmo de consumo de bens e de serviços pela sociedade.⁽²⁾

Desenvolvimento sustentável, especificações legais, adequação ambiental, melhoria contínua, dentre outras, são palavras que começam a entrar no cotidiano do mundo empresarial, mas que para muitos, ainda são de difícil compreensão e, principalmente, aplicação. No entanto, estas ações, mais que uma exigência legal ou de mercado, são ferramentas de gestão. Com o aumento das restrições impostas pela legislação ambiental, bem como pelas exigências do mercado por processos e produtos ambientalmente corretos, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para, dentre outros, promover a redução da geração, o tratamento, a re-utilização e a disposição correta de resíduos.⁽³⁾

A crescente produção de resíduos em conjunto com o risco de extinção das matérias-primas levou à necessidade de pesquisas na área de re-aproveitamento de resíduos. No entanto, novas linhas de pesquisa surgem com o objetivo de valorizar esses resíduos sólidos, buscando desenvolver suas eventuais potencialidades como matéria-prima e, assim, criar materiais compostos exclusivamente por resíduos.

A elevação de um resíduo industrial à categoria de fonte alternativa de recurso mineral requer a adoção de uma metodologia de qualificação, baseada nas políticas ambientais de classificação, na caracterização, e no estudo de viabilidade técnica e econômica da aplicação desses resíduos.⁽⁴⁾

Os problemas ambientais causados pelos materiais refratários vêm se constituindo numa questão cada vez mais importante. Os principais problemas são o ambiente de trabalho durante a sua instalação e uso, o consumo energético e a conservação dos recursos naturais e do meio ambiente. Vários tipos de materiais refratários são empregados na Indústria Siderúrgica no revestimento dos diversos equipamentos da metalurgia de redução, metalurgia do aço e processos de laminação e revestimento. Quando os materiais refratários chegam ao fim da sua vida útil, eles são substituídos por refratários novos, que têm de ser fabricados a partir de matérias-primas naturais, e os refratários após o uso, normalmente, são eliminados em aterros, desperdiçando-se valiosos recursos naturais.⁽⁵⁻⁷⁾ Nos últimos anos tem havido uma crescente pressão para reduzir a geração de resíduos refratários na Indústria Siderúrgica, que consome cerca de 70% da sua produção.⁽⁸⁾ Além disso, a disposição de resíduos em aterros cada vez mais distantes, aumenta consideravelmente os custos envolvidos.⁽²⁾

A redução da geração de resíduos refratários passa também, além da re-utilização, pelo prolongamento da vida útil dos revestimentos dos diversos equipamentos, seja pelo desenvolvimento e utilização de materiais de melhor



desempenho, seja pela melhoria e implantação de novas técnicas de manutenção. Como consequência, o consumo de refratários (kg refratários / t de aço) reduziu drasticamente nos últimos anos em decorrência dos esforços de P&D das Indústrias Siderúrgica e de Refratários.

A contaminação dos resíduos refratários gerados na Indústria Siderúrgica com as escórias dos processos metalúrgicos, metais, etc., restringem a possibilidade da sua re-utilização. Dessa forma, o sucesso ou fracasso da reciclagem de resíduos refratários depende fundamentalmente da separação dessas impurezas. Outra barreira citada na literatura⁽⁵⁾ é o alto custo da reciclagem em comparação com os benefícios tangíveis gerados. Pesquisa realizada em 1998 revelou que quase metade dos fabricantes da Indústria de Refratários não acreditava na reciclagem desses materiais. Por outro lado, os usuários de refratários percebiam apenas uma modesta redução de custos com a reciclagem dos resíduos refratários, devido ao baixo custo de descartá-los em aterros, decorrente da sua estabilidade química. Portanto, tornava-se difícil para muitas empresas viabilizar financeiramente a reciclagem desses resíduos. Além disso, ferramentas analíticas adequadas para avaliação não eram disponíveis, somada à falta de conscientização por parte de todos os envolvidos nesse processo.⁽⁵⁾

A Figura 1 apresenta o fluxograma típico do processo de reciclagem de refratários proposto por Hanagiri et al.⁽⁸⁾

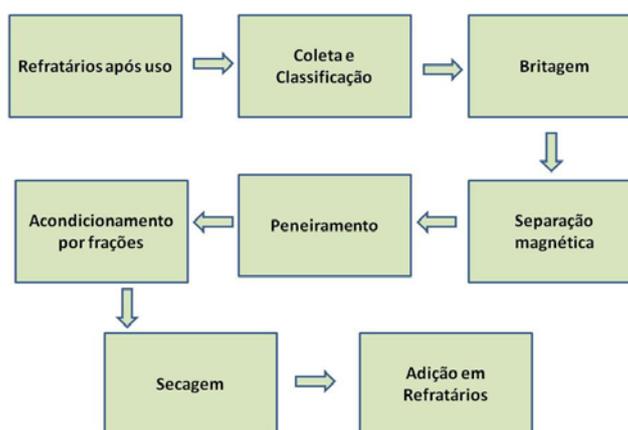


Figura 1. Fluxograma do processo de beneficiamento e reciclagem de resíduos refratários.⁽⁸⁾

De acordo com Hanagari et al.,⁽⁸⁾ do ponto de vista de controle de qualidade, os refratários após uso e demolição devem ser classificados em materiais à base de MgO, MgO.C, Al₂O₃, sílico-aluminoso e outros. Ainda assim, esses materiais após classificação podem estar misturados com outros tipos diferentes de refratários, metal e escória. Para remover as suas impurezas e obter faixas granulométricas uniformes, os materiais refratários usados devem ser britados, moidos e peneirados.

Os materiais refratários utilizados nos equipamentos siderúrgicos variam muito em qualidade de acordo com os locais de aplicação, em função das diferentes solicitações. Dessa forma, Hanagari et al.⁽⁸⁾ desenvolveram um método de reciclagem dos resíduos refratários após beneficiamento, denominado "uma posição para baixo". Nesse método, as matérias-primas reprocessadas são recicladas na produção de um material de qualidade inferior àquele da sua origem. A Figura 2 ilustra o conceito desse método.



Lima et al.⁽⁹⁾ ilustraram o “trade off” entre a viabilidade técnica, sócio-ambiental e a viabilidade econômica da reciclagem de resíduos refratários (Figuras 3 e 4).

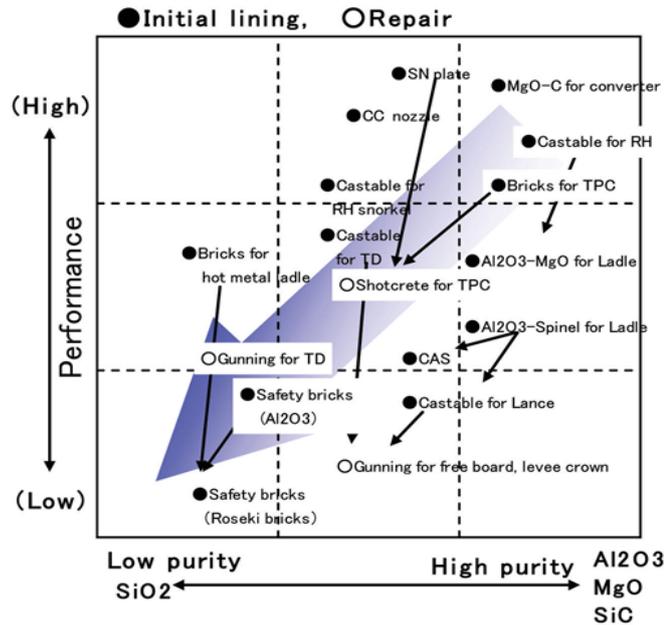


Figura 2. Ilustração do conceito de reciclagem de resíduos refratários denominado “uma posição para baixo” proposto por Hanagiri et al.⁽⁸⁾



Figura 3 – “Trade-off” entre a viabilidade técnica - sócio-ambiental e a viabilidade econômica da reciclagem de resíduos refratários.⁽⁹⁾

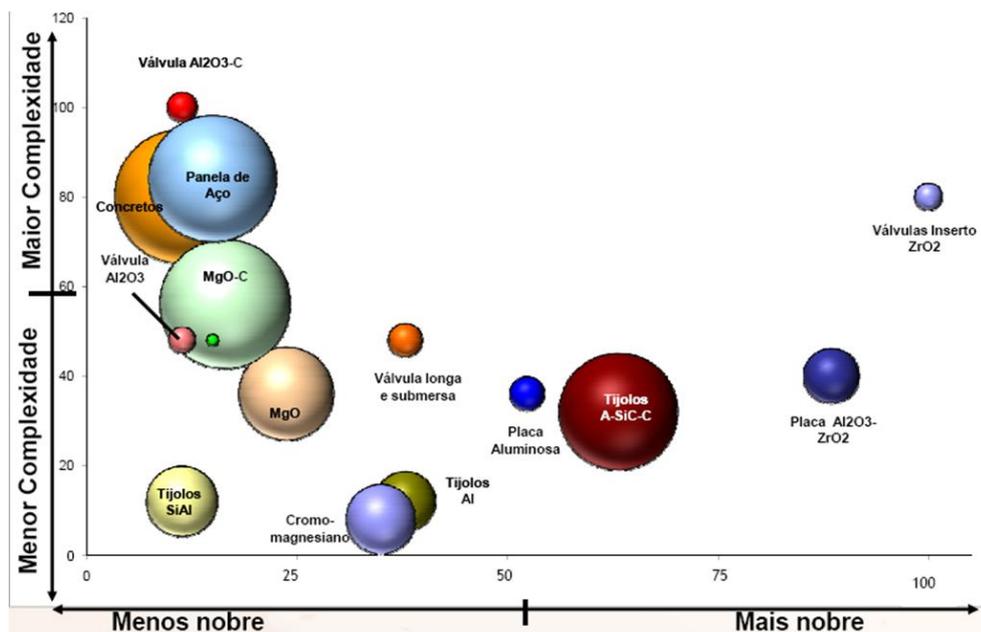


Figura 4 – Desafio tecnológico (complexidade) versus viabilidade econômica (valor agregado) da reciclagem dos produtos refratários utilizados na Siderurgia.⁽⁹⁾

O beneficiamento de alguns produtos refratários – *tijolos de alumina – carbetos de silício – carbono*, por exemplo, não apresenta dificuldade tecnológica (*menor complexidade*) e resultam em matéria-prima reprocessada de alto valor agregado (*mais nobre*). Os *tijolos sílico-aluminosos*, por exemplo, não apresentam também dificuldade tecnológica ao seu beneficiamento (*menor complexidade*), todavia a matéria-prima reprocessada é de baixo valor agregado, *pobre físico-quimicamente (menos nobre)*. Outros produtos, como as *válvulas de alumina – carbono*, por exemplo, envolvem desafios tecnológicos ao seu beneficiamento (*maior complexidade*) devido à presença de cápsulas metálicas e a matéria-prima reprocessada é de baixo valor agregado (*menos nobre*). Similarmente, o beneficiamento dos produtos de *magnésia-carbono* é de elevado custo devido à presença de pós metálicos em sua composição, cuja estabilização volumétrica é obtida através de decomposição térmica. Por outro lado, as *válvulas submersas com insertos de zircônia* também apresentam desafios tecnológicos ao seu beneficiamento (*maior complexidade*) – separação da zircônia e remoção de metal, entretanto resulta em uma matéria-prima reprocessada de alto valor agregado (*mais nobre*).

A manutenção dos diversos equipamentos siderúrgicos da UPV resulta na geração anual de cerca de 10 – 11 mil toneladas de resíduos refratários. Ancorado nas diretrizes da Política de Meio Ambiente da CSN - *Melhorar continuamente o desempenho ambiental de seus processos e Atender à legislação ambiental vigente e demais requisitos, buscando sempre que possível, alcançar resultados melhores do que os exigidos*, o presente projeto teve como principais objetivos agregar valor e promover a destinação adequada dos resíduos refratários gerados na UPV. Isso envolveu o seu beneficiamento, utilizando-se a capacidade ociosa da Planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e Demolição – RCD, implantada recentemente na UPV, visando à sua comercialização com a Indústria de Refratários.

Nesse contexto, todos os pontos críticos do ciclo de geração e reciclagem dos resíduos refratários – demolição, segregação, embalagem, identificação,



transporte, recepção, processamento, controle de qualidade e destinação, foram cuidadosamente investigados, no sentido de viabilizar técnica e financeiramente a sua aplicação como matéria-prima reprocessada para a própria Indústria de Refratários – logística reversa.

O projeto foi desenvolvido pela CSN através de Convênio de Cooperação Técnica e Econômica com a Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP, com a participação da Magnesita Refratários S.A., Indústria de Refratários, e compreendeu as seguintes etapas: i) avaliação preliminar, ii) pesquisa e desenvolvimento, iii) transporte, manuseio e processamento e iv) aplicação, validação e implantação.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A diversidade de produtos refratários utilizados na Indústria Siderúrgica demanda um rígido controle de todas as etapas do ciclo de geração e reciclagem dos resíduos refratários – demolição, segregação, embalagem, identificação, transporte, recepção, processamento, controle de qualidade e destinação, no sentido de viabilizar técnica e financeiramente a sua aplicação como matéria-prima reprocessada para a própria Indústria de Refratários – logística reversa.

O desenvolvimento do projeto para avaliação da viabilidade técnica e econômica do beneficiamento dos resíduos refratários obedeceu à metodologia proposta por Lima et al.,⁽⁹⁾ ilustrada na Figura 5.

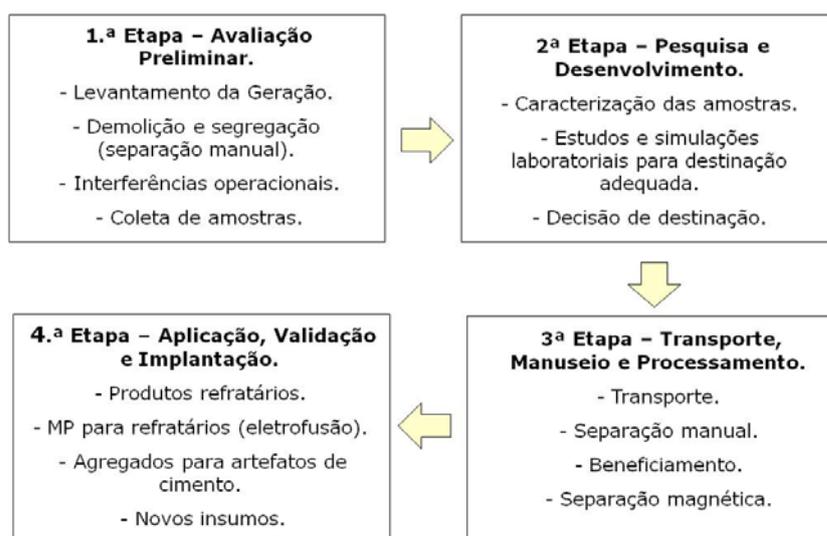


Figura 5 – Metodologia experimental para avaliação da viabilidade técnica e econômica da reciclagem de resíduos refratários proposta por Lima et al.⁽⁹⁾

2.1 1.ª Etapa – Avaliação Preliminar

2.1.1 Levantamento da geração

O levantamento da geração de resíduos refratários na UPV abrangeu os equipamentos da metalurgia de redução - Canais de Corrida dos Altos Fornos e Carros Torpedos, e metalurgia do aço – Painéis de Gusa, Painéis de Aço, Conversores LD, RH e Distribuidores de Lingotamento Contínuo, que apresentam uma programação regular de reparos de manutenção ao longo do ano.

A geração de resíduos refratários foi calculada levando-se em consideração o número de reparos anuais de cada equipamento, o escopo de cada tipo de reparo



– localizado, parcial e geral, estimando-se um percentual residual do total de material aplicado, de 20% a 30%.

2.1.2 Demolição e segregação

A demolição do revestimento refratário dos diversos equipamentos e posterior segregação dos resíduos refratários foi acompanhada com foco nos seguintes pontos:

- segurança de pessoal: a segregação manual do material deve obedecer aos padrões de segurança da empresa, evitando-se exposições a riscos, como por exemplo, a subida às pilhas de resíduos, que podem causar torções. Assim, o material tem de ser adequadamente disposto para as atividades de separação manual;
- interferências operacionais: a prioridade máxima é o retorno do equipamento à operação. As atividades de demolição e segregação do material não podem resultar em atraso do retorno do equipamento à operação;
- segregação: o material fortemente contaminado com escória e metal, face quente do revestimento de trabalho, é descartado. O material sem contaminação visível é separado manualmente para fins de beneficiamento;
- identificação: identificar adequadamente os materiais após segregação para evitar mistura com as diferentes famílias de produtos refratários; e
- custo dos serviços: o número de Homens.hora (Hh) e de horas de equipamento (pá mecânica, caminhões, etc.) das atividades de segregação foi devidamente apropriado para avaliação da viabilidade financeira do projeto.

2.2 2.^a Etapa – Pesquisa e Desenvolvimento

Amostras dos materiais coletados após segregação manual foram submetidas a um processo de beneficiamento em escala piloto para efeito de avaliação preliminar da viabilidade técnica e econômica e decisão de destinação. A Figura 6 ilustra a metodologia experimental para o caso particular dos refratários dos Canais de Corrida dos Altos Fornos.

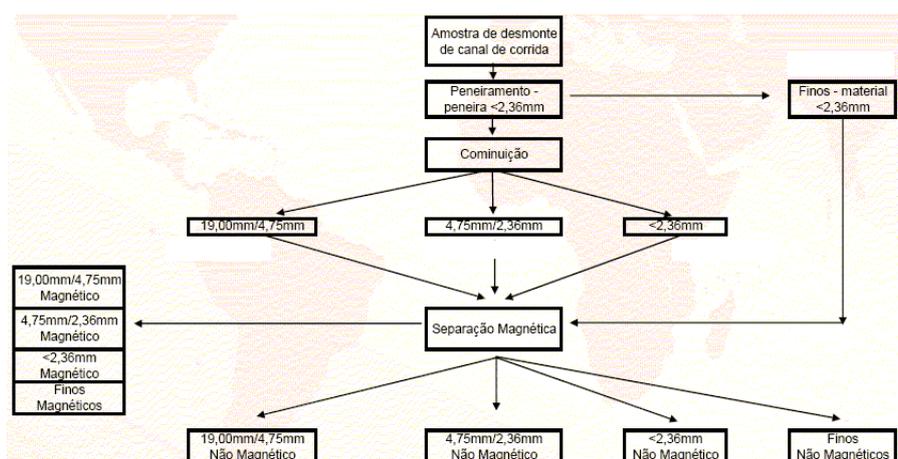


Figura 6 – Metodologia experimental em escala piloto para avaliação preliminar da viabilidade técnica e econômica e decisão de destinação de resíduos refratários.

O material foi cominuído em escala piloto nas frações 19,00-4,75 mm; 4,75-2,36 mm e abaixo de 2,36 mm. Essas frações foram submetidas à separação



magnética em tambor magnético de 5.000-6.000 Gauss. Em seguida, as diferentes frações granulométricas, magnéticas e não magnéticas, foram caracterizadas em termos de composição química, teor de carbono combinado, umidade, perda ao fogo, massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA), composição mineralógica e exames microscópicos com auxílio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

2.3 3.^a Etapa – Transporte, Manuseio e Processamento

Após segregação, o material refratário foi beneficiado, em escala industrial, na planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e Demolição – RCD, implantada recentemente na UPV. O processo de beneficiamento envolve as seguintes etapas:

- separação magnética primária: remoção da fração metálica livre, que é reciclada nos processos metalúrgicos da própria CSN;
- britagem: cominuição do material.
- separação magnética secundária: remoção da fração metálica ainda aderida e/ou infiltrada no material; e
- classificação: peneiramento e classificação granulométrica do material:
 - abaixo de 1 mm (descartada): a escória, aderida e/ou infiltrada, principal contaminante dos resíduos refratários, é friável e, portanto, tende a segregar-se na fração fina; e
 - acima de 76 mm: A fração superior a 76 mm retorna ao britador para cominuição complementar.

Alguns produtos contendo cápsulas metálicas como os tubos submersos, por exemplo, exigem uma etapa anterior ao processamento, para a sua remoção com auxílio de rolos compactadores. O corpo cerâmico, mais frágil, desintegra-se sob a ação do impacto mecânico. A fração metálica é removida, posteriormente, com auxílio de eletro-ímã e reciclada nos processos metalúrgicos da própria CSN. Todos esses custos são devidamente apropriados para efeito da avaliação da viabilidade financeira do projeto.

2.4 4.^a Etapa – Aplicação, Validação e Implantação

Para efeito de aplicação, validação e implantação do projeto e considerando ainda a questão logística, os diversos resíduos refratários foram classificados em seis diferentes famílias de matérias-primas reprocessadas, conforme ilustrado na Tabela 1. Visando à otimização do modelo de comercialização, as famílias de matérias-primas foram licitadas com duas opções de aquisição: venda das famílias de matérias-primas individualmente ou venda de todo o pacote de família de matérias-primas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

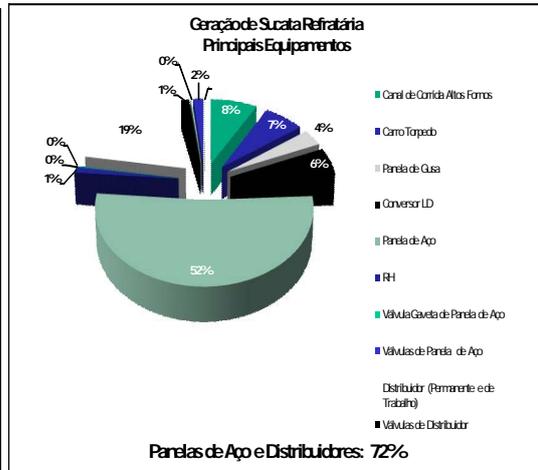
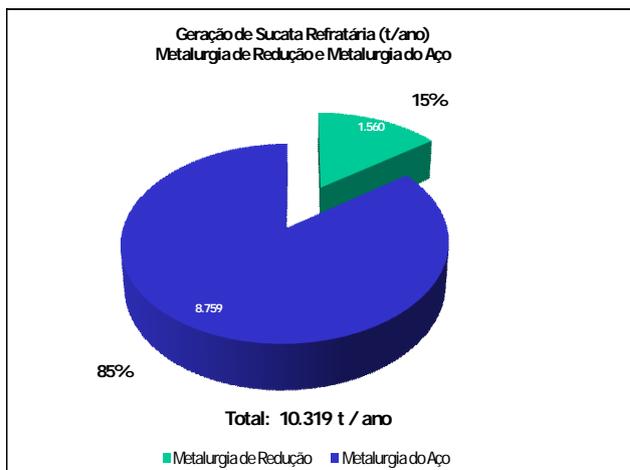
4.1 Geração de Resíduos Refratários

A UPV/CSN gera anualmente cerca de 10 – 11 mil toneladas de resíduos refratários (Figura 7a), sendo que a metalurgia do aço é responsável por 85% dessa geração. Apenas as Painéis de Aço e Distribuidores respondem por 72% de toda a geração (Figura 7b).



Tabela 1 – Famílias de matérias-primas reprocessadas

FAMÍLIA DE MATÉRIAS-PRIMAS REPROCESSADAS			
FAMÍLIA	GRANULOMETRIA	LOCAL DE ENTREGA	EQUIPAMENTO / COMPONENTE REFRAATÁRIO
1	= 1 mm	Usina de Asfalto	Canal de Corrida Altos Fornos
2	caco + tijolos	Oficina CT	Carro Torpedo
3	25mm = Granulom. = 76mm	Planta HARSCO	Panela de Gusa
			Panela de Aço
			RH
			Válvulas de Panela de Aço
			Distribuidor (Permanente e de Trabalho)
4	25mm = Granulom. = 76mm	Planta HARSCO	Válvulas de Distribuidor
			Conversor LD
5	Válvula Gaveta	Galpão GMT	Válvula Gaveta de Panela de Aço
			Válvula Gaveta de Distribuidor
6	25mm = Granul. = 76mm	Planta GGPS	Tubo Submerso
			Tubo Longo



a) Metalurgia (Redução e Aço).

b) Equipamento.

Figura 7 – Geração anual de resíduos refratários na UPV/CSN.

4.2 Avaliação Preliminar

Apresenta-se a seguir, a título de exemplificação, os resultados das diversas caracterizações dos resíduos refratários dos Canais de Corrida dos Altos Fornos, após beneficiamento em escala piloto.

A matéria-prima reprocessada dos Canais de Corrida é constituída essencialmente de alumina, sílica, carbetto de silício e óxido de cálcio nas formas cristalinas de coríndon, tridimita, cristobalita e quartzo, mulita e guelenita (Tabela 2).

Observou-se uma geração média de 50% de material magnético. De acordo com os resultados, quanto mais fina a fração granulométrica, maior a concentração



de material magnético (Tabela 4). Após a separação magnética (fração não magnética) observou-se que:

- redução de 86% da contaminação com gusa, expressa em termos do teor de Fe_2O_3 ;
- ausência da fase magnetita nos finos, fase ferro-magnético; e
- redução da densidade e aumento da porosidade, evidenciando a eliminação de grande parte dos grãos infiltrados.

Tabela 2 – Caracterização das principais propriedades físico-químicas e composição mineralógica do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos antes da separação magnética

CARACTERIZAÇÃO ANTES DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA				
ANÁLISE QUÍMICA				
Resultados (%)	Fração Granulométrica			
	19,00/4,75mm	4,75/2,36mm	<2,36mm	(*)Finos
Al_2O_3	48,58	41,76	31,12	17,39
SiO_2	31,71	13,82	26,89	41,07
SiC	5,31	4,74	8,15	6,54
CaO	9,16	7,95	17,21	7,35
Fe_2O_3	1,11	28,52	11,97	24,64
TiO_2	1,89	1,03	0,86	0,58
MgO	1,37	1,28	2,71	1,45
Na_2O	0,22	0,21	0,26	0,22
K_2O	0,23	0,16	0,29	0,25
P_2O_5	0,11	0,11	0,12	0,13
MnO	0,14	0,28	0,34	0,30
ZrO_2	0,15	0,11	0,06	0,06
Cr_2O_3	0,02	0,02	0,03	0,03
C combinado	1,59	1,42	2,44	1,96
Umidade	0,11	0,33	0,45	0,52
Perda ao Fogo	0,42	0,94	1,73	2,26
Composição Mineralógica	Tridimita, quartzo e cristobalita (SiO_2), coríndon (Al_2O_3), mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), Gelenita ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$), anortita ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), carbeto de silício (SiC) e titanato de ferro ($FeTiO_3$)	Quartzo e cristobalita (SiO_2), coríndon (Al_2O_3), mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), Gelenita ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$), anortita ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) e titanato de ferro ($FeTiO_3$)	Gelenita ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$), quartzo e cristobalita (SiO_2), carbeto de silício (SiC), coríndon (Al_2O_3) e mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)	Quartzo (SiO_2), magnetita (Fe_3O_4), coríndon (Al_2O_3), carbeto de silício (SiC), Gelenita ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) e hercinita ($FeO \cdot Al_2O_3$)
MEA (g/cm^3)		2,97		
PA (%)		8,29		

(*) Material abaixo de 2,36 mm da amostra após segregação, antes da cominuição.

**Tabela 3** – Rendimento de geração das frações após cominuição e distribuição granulométrica

Análise Granul. (%)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA			
	19,00/4,75mm	4,75/2,36mm	<2,36mm	(*) Finos
Comp. após Cominuição				
>16,00mm	43,2			
16,00–13,20mm	37,1			
13,20–12,50mm	22,9			
12,50–9,50mm	7,8			
9,50–8,00mm	17,4			
8,00–6,30mm	5,7			
6,30–4,75mm	2,7			
<4,75mm	2,5			
>4,75mm	4,0	0,05	0,00	0,00
4,75–3,35mm		36,36	0,00	0,00
3,35–2,36mm		52,26	6,92	0,11
2,36–1,70mm		8,58	42,39	5,93
1,70–1,00mm		0,49	16,18	14,39
1,00–600µm		2,31	8,12	17,58
600–212µm		0,00	9,40	32,79
212–75µm		0,00	5,95	17,03
75–45µm		0,00	3,29	5,01
<45µm		0,00	7,75	7,15

(*) Material abaixo de 2,36 mm da amostra após segregação, antes da cominuição.

Tabela 4 – Rendimento na etapa de separação magnética do resíduo refratário de Canais de Corrida dos Altos Fornos

RENDIMENTO DE SEPARAÇÃO MAGNÉTICA				
Fração	Peso Inicial (kg)	Material Magnético (kg)	Material Não Magnético (kg)	% Material Magnético
19,00–4,75mm	351,5	66,5	285,0	18,9
4,75–2,36mm	99,5	22,5	77,0	22,6
<2,36mm	101,5	79,0	22,5	77,8
(*) Finos	248,0	230,0	18,0	92,7

(*) Material abaixo de 2,36 mm da amostra após segregação, antes da cominuição.

Exames microscópicos do material antes da separação magnética revelaram agregados refratários contendo alumina eletrofundida, carvão de silício, chamotes aluminosos e silicosos, muito e pouco infiltrados com escória e gusa, além de fragmentos de metal (gusa). A Figura 8(a) ilustra a presença de agregados refratários contaminados com escória e gusa e a Figura 8(b) ilustra em detalhe um fragmento metálico.

Por outro lado, exames microscópicos do material após separação magnética (fração não magnética, 4,75–2,36 mm) mostraram a presença de agregados refratários contendo alumina eletrofundida, carvão de silício, chamotes aluminosos e silicosos, isentos ou com pouca infiltração de escória. Não foram observadas infiltrações com gusa.

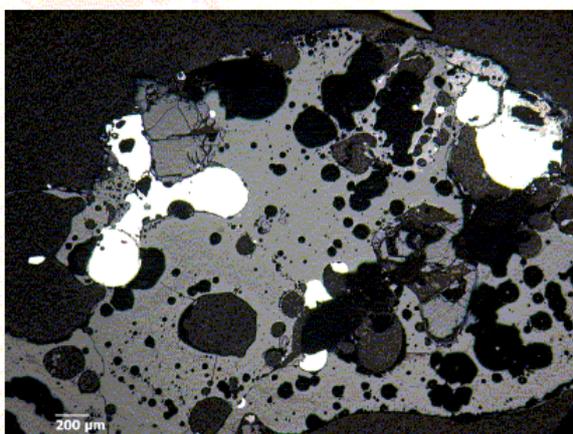
A Figura 9(a) ilustra a presença de agregados livres de contaminação e agregados contaminados com escória e a Figura 9(b) ilustra fragmentos de refratários corroídos por escória, mas livres de infiltração de gusa. Os resultados das diversas caracterizações realizadas sinalizaram a viabilidade técnica do beneficiamento dos resíduos refratários dos Canais de Corrida dos Altos Fornos para aplicação como matéria-prima reprocessada na Indústria de Refratários.



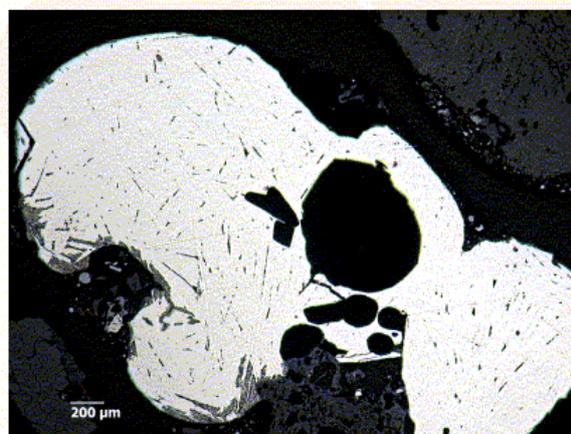
Tabela 5 – Caracterização das principais propriedades físico-químicas e composição mineralógica do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos após a separação magnética (fração não magnética)

CARACTERIZAÇÃO ANTES DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA				
ANÁLISE QUÍMICA				
RESULTADOS (%)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA			
	19,00/4,75mm	4,75/2,36mm	<2,36mm	(*) Finos
Al ₂ O ₃	42,38	61,69	49,10	27,01
SiO ₂	24,47	17,76	27,15	57,42
SiC	6,08	7,65	8,31	6,08
CaO	18,80	7,42	9,82	4,11
Fe ₂ O ₃	2,46	1,77	1,68	3,12
TiO ₂	1,14	1,37	1,36	0,65
MgO	3,29	1,46	1,69	1,01
Na ₂ O	0,25	0,19	0,24	0,13
K ₂ O	0,23	0,20	0,25	0,18
P ₂ O ₅	0,19	0,09	0,11	0,08
MnO	0,52	0,18	0,14	0,09
ZrO ₂	0,13	0,23	0,12	0,09
Cr ₂ O ₃	0,06	0,01	0,02	0,01
C combinado	1,82	2,29	2,49	1,82
Umidade	0,37	1,13	0,68	0,28
Perda ao Fogo	1,30	1,77	1,69	1,27
Composição Mineralógica	Quartzo, cristobalita e tridimita (SiO ₂), coríndon (Al ₂ O ₃), carbeto de silício (SiC), mulita (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), Gelenita (2CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂), hematita (Fe ₂ O ₃), rutilo (TiO ₂) e ferro metálico (Fe)	Quartzo, cristobalita e tridimita (SiO ₂), coríndon (Al ₂ O ₃), carbeto de silício (SiC), mulita (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), Gelenita (2CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂), anortita (CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂) e ferro metálico (Fe)	Quartzo e cristobalita (SiO ₂), coríndon (Al ₂ O ₃), carbeto de silício (SiC), mulita (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), Gelenita (2CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂), anortita (CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), hematita (Fe ₂ O ₃) e ferro metálico (Fe).	Quartzo e cristobalita (SiO ₂), coríndon (Al ₂ O ₃), carbeto de silício (SiC), mulita (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂), Gelenita (2CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂) e rutilo (TiO ₂) e alumina β.
MEA (g/cm ³)		2,86		
PA (%)		9,55		

(*) Material abaixo de 2,36 mm da amostra após segregação, antes da cominuição.



a)



b)

Figura 8 – Micrografia da fração de 4,75-2,36mm do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos antes da separação magnética.

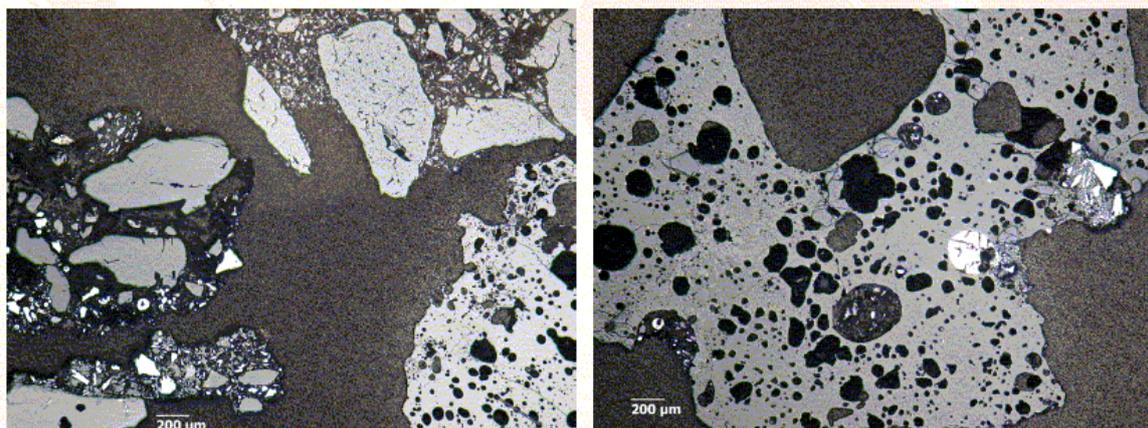


Figura 9 – Micrografia da fração de 4,75-2,36mm do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos após separação magnética.

4.3 Beneficiamento

Apresenta-se a seguir, a título de exemplificação, os resultados das diversas caracterizações dos resíduos refratários de Carro Torpedo, à base de alumina – carbeto de silício – carbono, após beneficiamento em escala industrial na planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e demolição – RCD, Figura 10.

A Tabela VI apresenta os resultados da composição química, massa específica aparente (MEA) e porosidade aparente (PA) dos resíduos refratários de Carro Torpedo após beneficiamento, fração 8,00-4,75mm, comparados à especificação técnica da Indústria de Refratários. De acordo com os resultados, o material foi aprovado como matéria-prima reprocessada para aplicação na Indústria de Refratários.

4.4 Comercialização

O modelo de comercialização de todo o pacote de resíduos refratários – toda a geração da metalurgia, incluindo estoque existente – solução integrada, apresentou o melhor resultado financeiro.

A implantação do projeto mostrou-se viável técnica e financeiramente, com um retorno econômico da ordem de R\$ 1,8 milhão em termos de valor presente líquido, além da minimização dos impactos ambientais.



Figura 10 – Planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e Demolição – RCD, da UPV / CSN.

**Tabela 6**– Resultados das caracterizações dos resíduos refratários de Carro Torpedo após beneficiamento na Planta de RCD, fração 8,00-4,75 mm

CARACTERIZAÇÃO APÓS BENEFICIAMENTO NA PLANTA DE RCD				
Comp. Química (%)	Especificação Técnica		Valor Típico	Reprocessado
	Mínimo	Máximo		
Perda ao Fogo	4,00	10,0	9,70	6,95
SiO ₂		9,00	5,74	5,40
Al ₂ O ₃	70,0	80,0	74,85	79,20
Fe ₂ O ₃		1,10	0,48	1,16
TiO ₂		3,00	1,12	0,93
CaO		0,60	0,52	0,74
MgO		9,00	1,10	1,01
K ₂ O		0,20	0,08	0,07
Na ₂ O		0,20	0,06	0,02
ZrO ₂		0,20	0,11	0,08
P ₂ O ₅		0,10		0,03
SiC	2,00	7,00		3,90
MEA (g/cm ³)	2,97			3,05
PA (%)		12,0		9,2

5 CONCLUSÕES

A segregação e beneficiamento dos resíduos refratários gerados na UPV / CSN para re-utilização na Indústria de Refratários como matéria-prima reprocessada, logística reversa, é viável tecnicamente.

A implantação do projeto, através de uma solução integrada, apresentou também viabilidade financeira, com um retorno econômico da ordem de R\$ 1,8 milhão em termos de valor presente líquido, além da minimização dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- MORAES, G. G.; NETO, J.B.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A. P. N.; OLIVEIRA, B.G. e OLIVEIRA, T. H. M. N. Produção e Caracterização de Espumas Cerâmicas Obtidas a partir de Lodo de Anodização de Alumínio. **Química Nova**, Vol. XY, N°. 00, 1-6, 200, 2011.
- FRITZEN, N.; SERPA, E. N.; KNISS, C. T.; RIELLA, H. G. Desenvolvimento de um material vítreo a partir de um resíduo do setor de Fundição. **17.º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, PR, 2006.
- FERRARI, K. R. et al. Ações para a diminuição da geração de resíduos na Indústria de Revestimentos Cerâmicos e a reciclagem das rasps. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 2, p. 38-41, 2002.
- ROCHA, T. B. Estudo das propriedades de cerâmicas refratárias formuladas com resíduos industriais. Trabalho de graduação (Engenharia de Materiais), **Universidade Federal de Santa Catarina**, Aveiro, Portugal, 2005.
- FANG, H.; SMITH, J.D.; PEASLEE, K.D. Study of spent refractory waste recycling from metal manufacturers in Missouri. **Resources, Conservation and Recycling**, 25, p.111–124, 1999.
- SMITH, J.D.; FANG, H.; PEASLEE, K.D. Characterization and recycling of spent refractory wastes from metal manufactures in Missouri. **Resources, Conservation and Recycling**, 25, p.151–169, 1999.
- BENNET J.P.; KWONG, K.S. Recycling practices of spent MgO-C refractories. **J Min Mats Charact**, 1:69 – 78, 2002.



- 8 HANAGIRI, S.; SHIMPO, A.; INUKUZA, T.; SAKAKI, S.; MATSUI, T.; ASO, S.; MATSUDA, T.; NAKAGAWA, H. Recent improvements of recycling technology for refractories. **Nippon Steel Technical Report**, N°. 98, p. 93, 2008.
- 9 LIMA, D. F.; JUNIOR, A. F. O.; SILVA, G. F. B. L.; NOVAIS, C. C. Reciclagem de refratários após uso: desenvolvendo sustentabilidade – caracterização dos co-produtos refratários produzidos na Aciaria. **Anais 41.º Seminário de Aciaria Internacional**, Resende, RJ, 2010.