

# PROCESSOS DE MISTURA NA MINERAÇÃO E NA SIDERURGICA<sup>1</sup>

Uriel Vargas<sup>2</sup>  
Eduardo Cabral<sup>3</sup>  
Jürgen Blatz<sup>4</sup>  
Dirk Boysen<sup>5</sup>

## Resumo

No trabalho são demonstradas instalações de processamento de minério de ferro que operam no exterior com o sistema de mistura intensiva, avalia os sistemas de mistura atualmente empregados no Brasil e compara os resultados obtidos na pelletização e na sinterização. São relatados os procedimentos de condicionamento de subprodutos gerados nas usinas siderúrgicas e nas mineradoras para reaproveitamento na forma de aglomerados, pelotas ou briquetes. A homogeneidade tem influência fundamental nas características químicas metalúrgicas da pelota e na permeabilidade para a queima na sinterização.

**Palavras-chave:** Mistura; Pelotização; Sinterização; Resíduos.

## MIXING PROCESS IN MINING AND IN THE STEEL INDUSTRY

## Abstract

Here is demonstrated facilities of iron ore processing that operate in the exterior with the intensive mixing system, evaluate the methods usually used in Brazil and compare the results obtained in pelletizing and in sintering. Is related the procedures of conditioning sub products generated in the steelworks and in miners for re-using in the form of agglomerates, pellets or briquettes. The homogeneity has fundamental influence in the chemical metal characteristics of the pellet and in the permeability for sintering.

**Key words:** Mixing; Pelletizing; Sintering; Residues.

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

<sup>2</sup> Sócio da ABM, Gerente de Produto – Engenharia de Vendas e Aplicações da Eirich Industrial Ltda., Jandira/SP - Brasil.

<sup>3</sup> Sócio da ABM, Engenharia de Aplicações da Eirich Industrial Ltda., Jandira/SP - Brasil.

<sup>4</sup> Gerente Comercial, Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardheim - Alemanha.

<sup>5</sup> Gerente Geral, Eirich Industrial Ltda., Jandira/SP - Brasil.

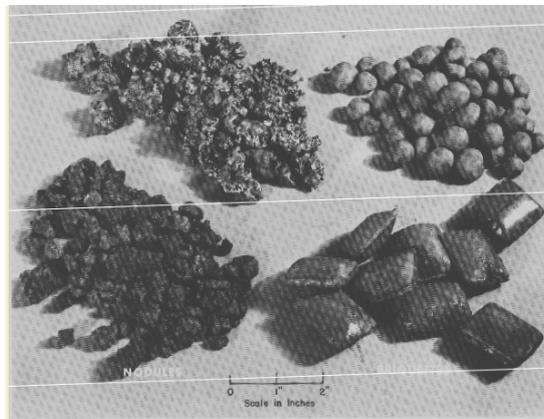
## 1 INTRODUÇÃO

No processo de aglomeração a frio de concentrados de minério de ferro na forma de *sinter feed* para sinterização, *pellet feed* para pelotização ou de subprodutos para reaproveitamento, a etapa de mistura contínua é de relevante importância, que merece ser mais bem discutida e analisada.

Cada família ou classe de materiais a serem misturados tem propriedades e características distintas, respectivamente produtos finais diferenciados.

Ademais, cada processo produtivo tem suas fundamentais particularidades que devem ser preservadas sem, entretanto obstruir novas tecnologias em qualquer uma das fases do processo.

A eficiência da mistura associada à repetibilidade na homogeneidade, é um dos determinantes fatores na qualidade do produto final – pelota, sinter ou briquete (Figura 1) e certamente, uma favorável condição na redução no custo final de produção.



Fonte: ABM - Curso de Aglomeração de Minério de Ferro – Vitória, março/2007

**Figura 1** – Produtos finais de alta qualidade

## 2 PROCESSOS DE MISTURA NO BRASIL

Na produção de pelotas, sinter e tratamento de co-produtos, a etapa da mistura é importante para inibir os problemas nas etapas subseqüentes da produção, entre os quais se destacam:

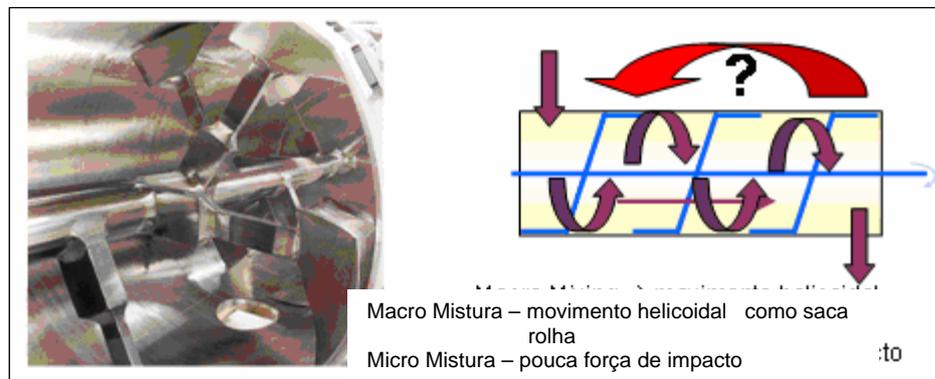
- Na pelotização - alto índice de retorno de pelotas cruas;
- Na sinterização - frente de queima defasada;
- No co-processamento - laminação na prensagem e fragilidade dos briquetes.

Na avaliação sistêmica do processo<sup>(1)</sup> a mistura tem direta influência nas etapas subseqüentes dos diferentes processos, ou seja, nos discos ou tambores para pelotamento ou nas grelhas para sinterização.

### 2.1 Na Mineração

Nas usinas de pelotização exercidas pelas mineradoras, são utilizados misturadores do tipo tambor: um cilindro horizontal contendo um eixo central rotativo que suporta vários braços nas extremidades dos quais estão fixados dispositivos na forma de laminas (“arados”) que movimentam a composição – Figura 2.

A mistura é promovida pela movimentação compulsória através da transportabilidade provocada pelas laminas, que lançam o material para cima e para baixo.



**Figura 2** – Misturador de tambor horizontal utilizados na pelotização

Com competência foram introduzidas inúmeras melhorias em diferentes etapas do processo de pelotização ao longo das últimas décadas. Entretanto, a etapa da mistura mantém o mesmo sistema adotado na primeira usina de pelotização instalada no Brasil com projeto elaborado da década de 1950. <sup>(2)</sup>

## 2.2 Na Siderurgia

Em plantas de sinterização nas usinas siderúrgicas integradas são utilizados os misturadores de tambor rotativo: um cilindro horizontal dotado de aletas internas, que tem a função de lançar o material para frente e para o alto, promovendo a mistura – Figura 3.

A mistura acontece também pela movimentação compulsória devido à transportabilidade provocada pelas aletas instaladas no primeiro trecho.

No segundo trecho do tambor, o material lançado para cima e associado ao efeito da gravidade induz o material misturado ao rolamento, promovendo a formação do aglomerado ou micro pelota.



Fonte: ABM - Curso de Aglomeração de Minério de Ferro – Vitória, março/2007.

**Figura 3** – Misturador de tambor horizontal usados na sinterização

### 3 PROCESSOS DE MISTURA NO EXTERIOR

Desde longos anos os misturadores intensivos operando nas plantas de pelotização e de sinterização no exterior, comprovam substantivos ganhos de ordem técnica e comercial, o que tem estimulado a crescente utilização nas novas implantações ou em *up-grade* de plantas existentes.

#### 3.1 Misturadores Intensivos

Os primeiros misturadores intensivos em contra corrente foram construídos em 1903 e, desde então passaram por vários estágios de desenvolvimento até os de quarta geração atualmente em operação.

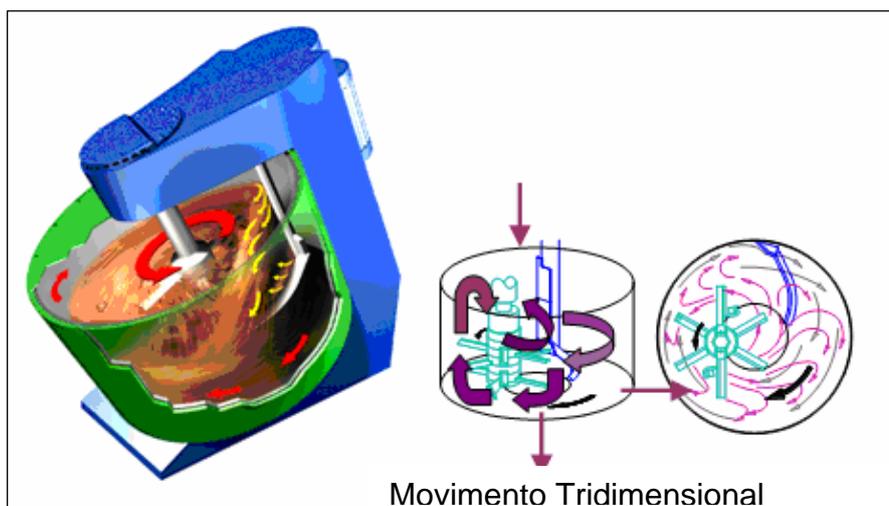


**Figura 4** – Misturador intensivo contra corrente – vista interna

Nos misturadores intensivos em contra corrente a cuba gira em sentido horário e as ferramentas verticais excêntricas em sentido contrário – Figura 4.

O nível de enchimento da cuba é de 90% e um único giro das ferramentas de mistura cobre por completo toda a composição sem pontos mortos.

A ação das ferramentas de mistura promove um fluxo em corrente tridimensional, onde cada partícula da composição é forçada a mudar de posição em larga escala no sentido horizontal e vertical – Figura 5.



**Figura 5** – Fluxo de mistura tridimensional no misturador intensivo

### 3.1 Na Mineração

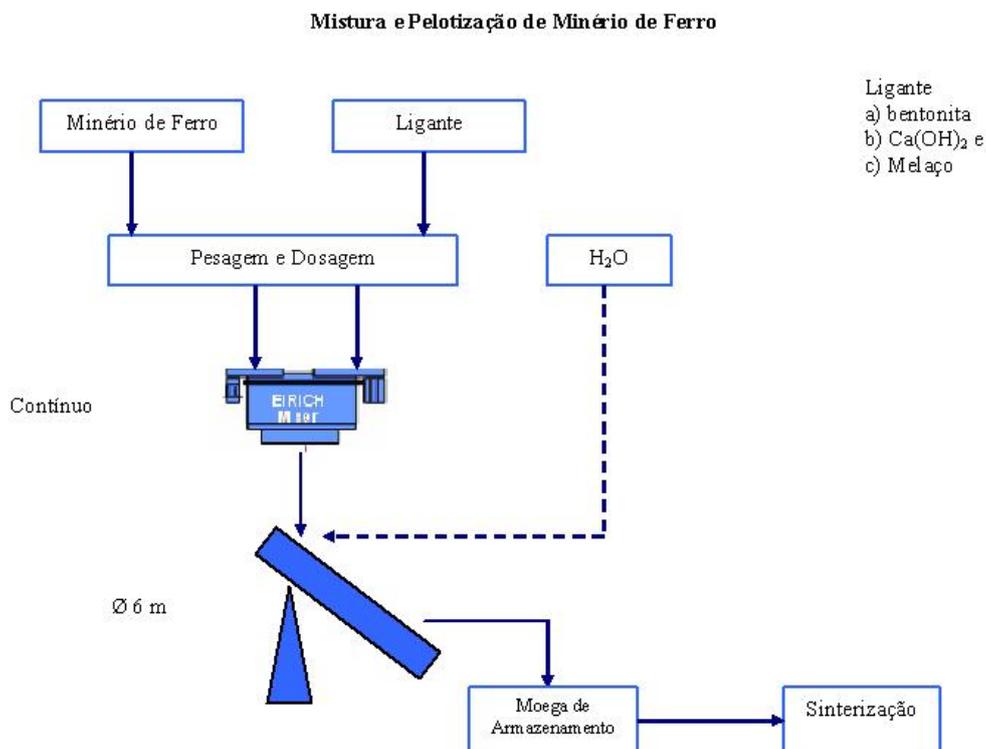
A mistura na pelletização (Figura 6) deve assegurar a perfeita distribuição e combinação de todos os componentes, com operação confiável e alta disponibilidade.

Todas as propriedades significativas da pelota dependem da ótima interação dos diferentes aditivos para uma composição química perfeita, e somente poderá ser garantida ao ser muito bem misturada antes do pelletamento.

Se a composição idêntica de todas as pelotas individuais deve ser garantida para assegurar as mesmas propriedades físicas e químicas, é imperativo usar um sistema de mistura de alto desempenho.

Não é nenhuma tarefa fácil - os materiais são muito finos e os aditivos são usados em uma baixa concentração.

Somente a perfeita distribuição de todos os componentes em um misturador intensivo assegura uma composição homogênea, onde as propriedades mecânicas e metalúrgicas máximas da pelota serão atendidas, e os bons resultados serão obtidos nos alto-fornos.



**Figura 6** – Fluxograma típico da pelletização

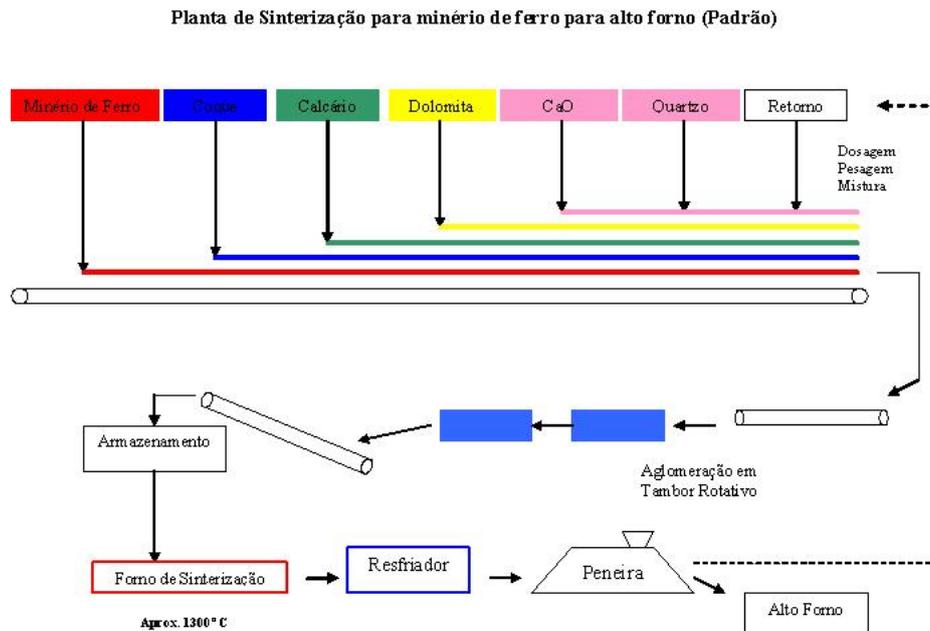
A melhor qualidade obtida na mistura intensiva reflete na uniformidade das propriedades e características da pelota, com melhor relação compactabilidade a verde e porosidade, com consideráveis ganhos comprovados em instalações em operação que atestam:

- Alta disponibilidade – próxima a 98%
- Menor consumo de energia – entre 25 a 30%
- Redução no consumo de aditivos – até 5%
- Menor taxa de retorno das pelotas cruas – menor do que 10%.

### 3.2 Na Siderurgia

Na sinterização a mistura interfere diretamente na etapa de queima, pela permeabilidade obtida que vem determinar a expansão dos gases e a uniformidade na frente de queima.

Usualmente os diferentes tipos de minérios são recolhidos em pilhas (blendagem), grosseiramente misturados e transferidos para a torre de preparação onde são dosados /pesados com os demais componentes para abastecimento contínuo de um ou dois misturadores de tambor – Figura 7.



**Figura 7** – Fluxograma típico com misturadores de tambor

Para a preparação do sinter há as interdependências a respeito da tecnologia de mistura que são similares àquelas no processamento para pelotização. Aqui outra vez, na análise sistêmica do processo, o significado de uma boa mistura é determinante fator para a produção de gusa no alto-forno.

Os tradicionais tambores de mistura de lento giro tem limitada eficiência de mistura, em particular, na etapa de dispersão da água adicionada para estabilizar a umidade da composição e para realizar um determinado grau de aglomeração.

O uso de misturadores intensivos em cascata para plantas existentes abre um elevado potencial para a considerável melhoria na qualidade do sinter, ao remisturar e simultaneamente aglomerar os materiais – Figura 8.

Com este arranjo tornou-se evidente que quando todo o sinter é tratado eficazmente no misturador intensivo, melhores resultados são constatados relativos à distribuição do tamanho da partícula, da estabilidade e da permeabilidade do sinter conseguidos. Por causa do aumento da permeabilidade, a velocidade da frente de queima é altamente maior com menor consumo de coque, melhorando as propriedades mecânicas do sinter produzido.

A instalação do misturador intensivo reflete em consideráveis ganhos adicionais, comprovada em instalações em operação que atestam:

- Alta disponibilidade – próxima a 98%

- Incremento na capacidade de sinterização – maior do que 10%
- Redução no consumo de coque – até 5%
- Aumento no “ISO strength” – aproximadamente 5%

Planta de Sinterização para minério de ferro para alto forno (Tecnologia Avançada)

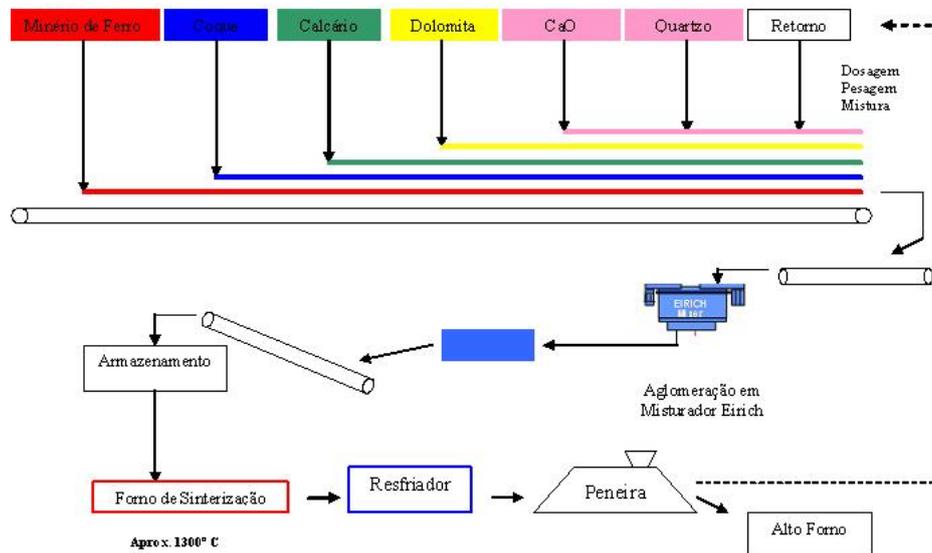


Figura 8 – Fluxograma com misturador intensivo integrado ao tambor

Misturadores intensivos com capacidade volumétrica útil de 12.000 l (Figura 9) estão sendo comissionados em plantas de pelotização e sinterização, apropriados para a preparação eficiente de 1.200 t/h de concentrado de minério de ferro.



Figura 9 – Misturador intensivo DW40 para pelotização e sinterização

## 4 PROCESSAMENTO DE SUBPRODUTOS

Os subprodutos gerados nas minerações e nas siderúrgicas são susceptíveis de aproveitamento econômico, retornando ao processo produtivo como matéria prima. Lamas ou tortas de finos retidos em bacias ou tanques de decantação obtidos em filtros prensas, pós retidos em filtros eletrostáticos ou de mangas podem ser tratados para o aproveitamento na indústria siderúrgica como matéria prima na forma de aglomerado, pelota ou briquete.

Diferentes e diversas possibilidades são disponíveis: aglomeração, pelletização, briquetagem, conformação na forma de “tijolos”.

Para todos estes processos, misturar é crucialmente importante.

O sistema de mistura intensiva em contra corrente provou ser muito eficiente para esta difícil tarefa, tratando de co-produtos com propriedades pegajosas, abrasivas, corrosivas e algumas das vezes reativas.

### 4.1 Briquetes

Briquetes constituídos de subprodutos metálicos e carbônicos são produzidos em larga escala desde longo tempo.

Para os processos de redução direta ou forno a arco, os materiais são preparados no misturador intensivo para posterior formação dos briquetes de ferro esponja conformados em prensas de rolos – Figura 10.

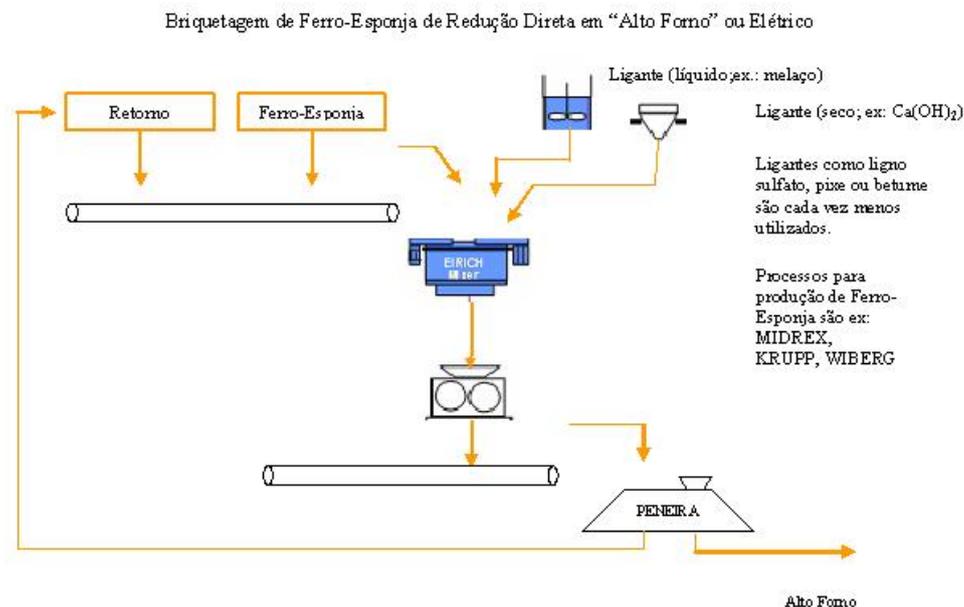


Figura 10 – Fluxograma típico de uma planta de briquetagem

No Brasil a primeira unidade industrial na siderurgia iniciou a operação em 1994, na atual Arcelor Brasil CST, com o objetivo de aproveitar a lama de aciaria por possuírem carga metalizada em um nível de ferro total (70 – 75%) superiores aos das pelotas (65 – 66%) e do sinter (58%), portanto competitiva como matéria prima para carga do alto-forno.<sup>(3)</sup>

Testes e ensaios levaram pela opção do misturador intensivo, satisfazendo a necessidade da melhor mistura com repetibilidade, em se tratando de ligantes viscosos com materiais altamente abrasivos.

## 4.2 Processo TECNORED®

O processo Tecno-red se propõe à produção de gusa a partir de subprodutos na forma de pelotas ou briquetes auto redutores de cura a frio, para a obtenção do gusa com custos operacionais e de investimentos inferiores aos de processos tradicionais.<sup>(4)</sup>

O forno de auto-redução Tecno-red tem características diferenciadas (Figura – 11), que contem basicamente uma cuba superior, uma zona de fusão, e em seguida a cuba inferior, pela qual se vaza o metal liquido e a escoria, em um regime operacional muito parecido com o de um alto-forno.<sup>(5)</sup>

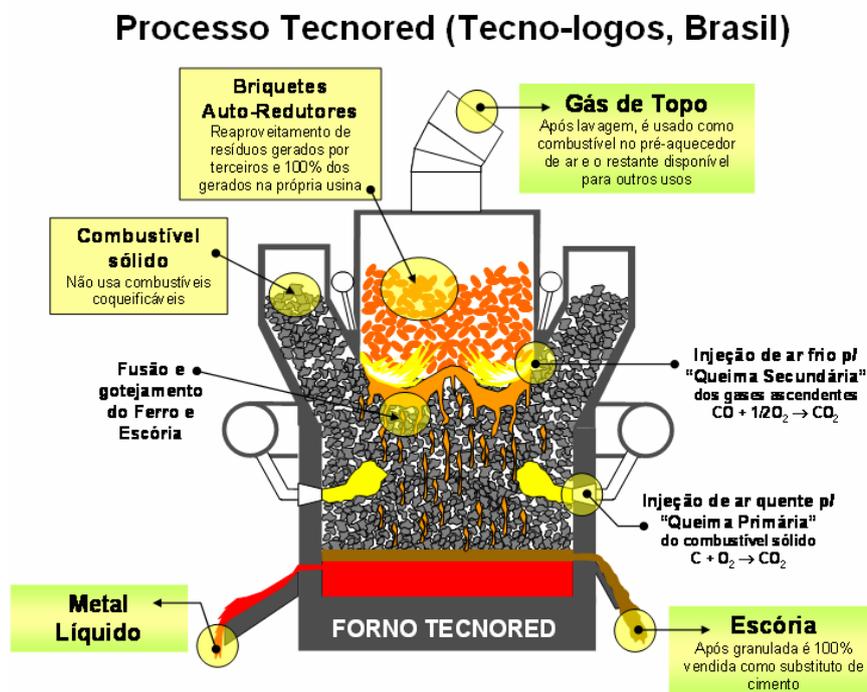


Figura 11 – Forno Tecno-red

Utiliza subprodutos oriundos da mineração e da siderurgicas como matéria prima, misturados e aglomerados para conformação como briquetes ou pelotas.

Instalada em 1985, a usina piloto para testes e desenvolvimento montada em Joinville/SC, desde o primeiro momento iniciou as operações com o misturador intensivo, que demonstrou ser especialmente adequado para o processamento de generalizada classe de subprodutos, de ampla e diversificada características.

A primeira planta industrial com inicio de operação no primeiro semestre de 2007, foi instalada em Pindamonhangaba/SP, na unidade Usipar / Aços Villares, opera um completo sistema de fornecimento Eirich (Figura 12), para a preparação de aglomerados destinados à produção de briquetes.

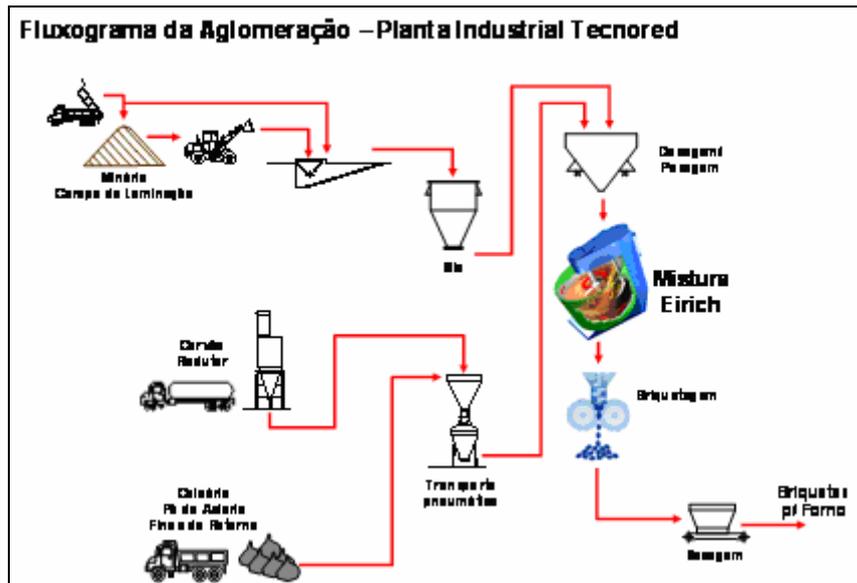


Figura 12 – Processo Tecored

### 4.3 Processo PRIMUS®

Após testes pilotos de sucesso, iniciou em 2003 a operação da primeira instalação industrial utilizando o novo processo denominado Primus para a reciclagem de co-produtos em um forno vertical baseado em “células de múltiplo aquecimento” para a redução direta com a utilização de carvão de baixo custo – Figura 13.

A empresa Primorec S.A. é uma companhia fundada por Paul Wurth (Grupo Arcelor) associada à empresa SNCI.



Figura 13 – Instalações da Primorec em Differdange/ Luxemburgo

A planta instalada foi concebida para a reciclagem de todos os materiais gerados na siderúrgica local, incluindo poeiras dos fornos elétricos a arco, lamas contendo óleo das linhas de laminação.

Os diferentes subprodutos são processados em um misturador intensivo, onde através de um sistema de medição da umidade instalado dentro do próprio

misturador, a umidade final da mistura pode ser ajustada durante no processo de preparação, conforme os variados índices de umidade dos materiais básicos – Figura 14.

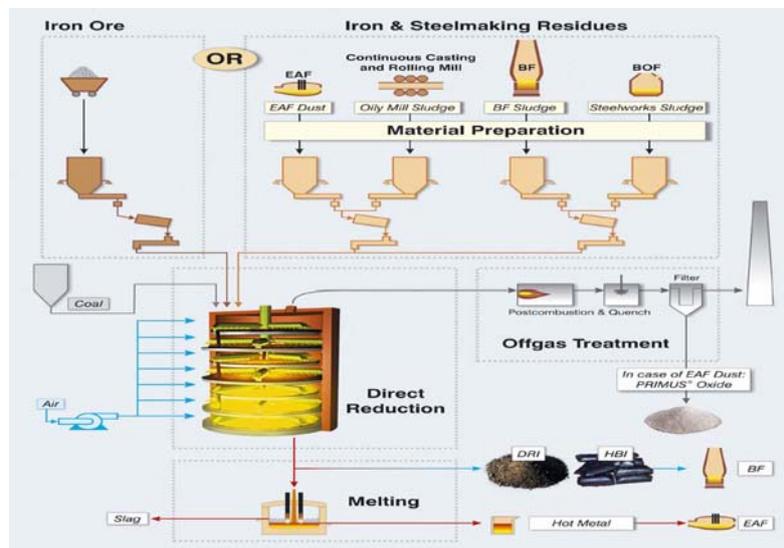


Figura 14 – Diagrama do processo Primus

#### 4.4 Processo WAEZL<sup>®</sup>

A quantidade crescente de metais galvanizados disponibilizado no mercado levou ao desenvolvimento do processo Waelz de extração do zinco, permitindo assim sua utilização como carga na forma de sucata.

Em 1992, a empresa alemã BUS Zinkrecycling Freiberg GmbH construiu uma planta de reciclagem do zinco na cidade de Freiberg/ Alemanha, utilizando um forno rotativo para a transformação do conteúdo de resíduo do zinco em óxidos.

A Figura 15 mostra a torre de mistura em fase de montagem de uma das seis plantas que o Grupo Bus opera em diferentes locais da Europa.



Figura 15 – Torre de mistura em fase montagem

Em 1997 o sistema de intensivo de mistura e aglomeração foi instalado, no que resultou em um aumento na capacidade do forno próximo a 20%.

Diferentes subprodutos são combinados de acordo com seu índice do zinco, misturados e umedecidos homogeneamente de forma contínua para o abastecimento do forno rotativo subsequente.

#### 4.5 Processo OXYCUP®

No verão de 2004 o novo processo denominado OxyCup começou a operar no tratamento de subprodutos gerados na produção de aço na cidade Duisburg/ Alemanha na planta ThyssenKrupp Stahl (TKS).

A empresa TKS opera três plantas de sinterização, quatro alto-fornos e duas aciarias e, usando esta nova tecnologia, foi possível processar os subprodutos gerados em todas estas plantas para recuperação do ferro contido.

A idéia principal do processo é a manufatura dos tijolos contendo resíduos de ferro e de carbono para fornos de redução direta na produção de ferro esponja.

Assumindo o conceito de “resíduo zero” mostrado na Figura 16, os materiais processados são poeiras do BOF e da sinterização, lamas do alto-forno, carepas de laminadores e particulados de coque.

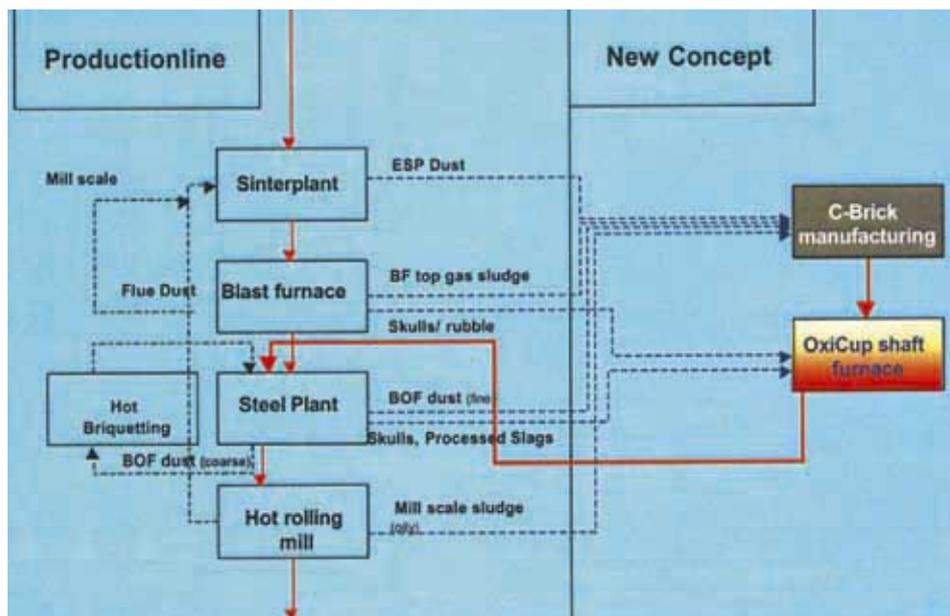
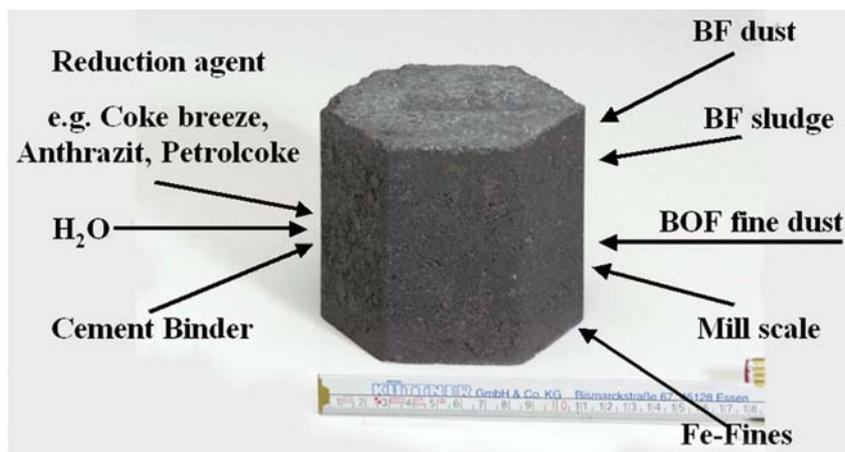


Figura 16: Diagrama do processo OxiCup

No sistema da preparação os materiais são pesados e processados em um misturador intensivo contra corrente, adicionando um agente ligante para dar a consistência de um corpo de concreto.

Este corpo é conformado em tijolos sextavados (Figura 17), em uma linha de moldagem similar aos tijolos usados como pavimento viário.



**Figura 17** – Tijolo hexágono

Os tijolos contêm aprox. 50% de ferro, prontos para redução após cura e endurecimento em 3 dias, ou mantidos em estoque para uso futuro.

Para a distribuição uniforme dos subprodutos e para a estabilidade dos tijolos o processo da preparação no misturador é fundamental. As lamaz têm que ser inteiramente desintegradas e misturadas de forma homogênea com poeiras e pós que se caracterizam pela extrema finura granulométrica.

Após diversos e extensivos testes foi decidido por usar o misturador intensivo que realiza com competência a desintegração das lamaz e promove a correta mistura com os pós uniformizando a umidade.

Estas propriedades são pré-requisitos no perfeito preenchimento dos moldes para a prensagem e para obter a dureza requerida do tijolo.

## 4.6 Plantas Siderurgicas

### Na Hüttenwerke-Krupp-Mannesmann (HKM)

#### Sinterização

A Universidade Técnica RWTH de Aachen/ Alemanha e o Instituto de Pesquisas SGA Lienzburg contratados pela HKM demonstrou ser possível o reaproveitamento de materiais contendo ferro na sinterização, desde que a composição do material reciclável seja idêntica à mistura de sinter original.

A adição direta de pós deteriora a permeabilidade do leito de sinter e aumenta a carga da poeira no sistema de despoejamento, efeito que a aglomeração deveria eliminar.

Extensivos testes foram conduzidos usando diferentes tipos de misturadores ao estudar as propriedades dos aglomerados obtidos em um misturador intensivo em contra corrente em comparação com um misturador tipo tambor horizontal de eixo único com braços.

Os estudos indicaram que o misturador intensivo executou melhor praticamente todos os critérios requeridos, particularmente as exigências de qualidade dos grânulos, distribuição granulométrica controlada, absorção de água, destruição das protuberâncias, auto-limpeza, baixo desgaste.

“O misturador de alta intensidade (Eirich) pôde desagregar todas as lamas e pós e melhorar a distribuição dos ligantes. Além disso, ajudou ativar mecanismos de ligação. Misturar é um passo fundamental deste trabalho. Uma mistura correta dos subprodutos e aditivos conduzirá a uma plasticidade ótima para a briquetagem ou aglomeração”.<sup>(6)</sup>

O sistema iniciou a operação em 2002 – Figura 18.



Figura 18 – Sistema de aglomeração de pós da HKM Duisburg, Germany

### **Na Companhia Siderúrgica Nacional – CSN**

#### **Sinterização**

Com misturador intensivo semi-industrial disponível no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, desde 1987 foram e continuam sendo desenvolvidos trabalhos focando o tratamento de subprodutos gerados na usina de Volta Redonda/RJ.

Inúmeras instalações com misturadores intensivos estão em operação na CSN, montadas em conexão com sistemas de despoeiramento, para a umidificação/aglomeração de pós destinados às sinterizações.

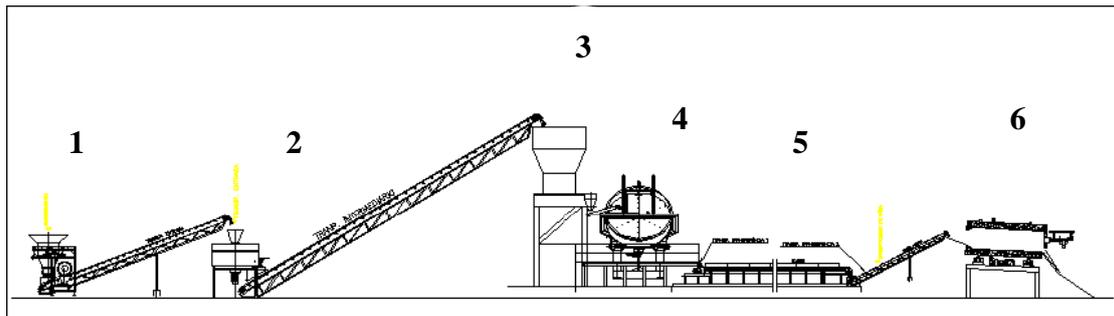
O sistema de despoeiramento da sinterização 4 terá mais um misturador intensivo com previsão de instalação no segundo semestre de 2007.

### **Na Companhia Siderúrgica Nacional – CSN**

#### **Pelotização não convencional**

A CSN através de sua planta de pelotização de resíduos desenvolveu uma pelota metalizada contendo lama fina de aciaria. Durante o processamento da pelota ocorre redução significativa do teor de zinco, permitindo sua utilização como carga metálica na aciaria.<sup>(7)</sup>

A unidade experimental produz pelotas constituída de lama fina de aciaria LD, oxido de ferro sintético (URA), finos de coque e cal recuperado em despoeiramento – Figura 19.



**Figura 19** – Diagrama da planta piloto (1 silo balança, 2 misturador, 3 silo dosador, 4 prato pelotizador, 5 forno secador e 6 forno rotativo de queima)

O processo mostrou-se promissor indicando a possibilidade de montagem de uma planta industrial com um misturador adequado – Figura 20.



**Figura 20** – Misturador R 24 de EIRICH, volume útil de 3.000 litros

## CONCLUSÕES

Um novo cenário é propício às usinas de pelotização e sinterizações brasileiras com a aplicação da atualizada tecnologia de mistura intensiva para a preparação de concentrado de minério de ferro, reduzindo respectivamente o alto índice de retorno de pelotas cruas e melhorando a frente de queima.

A seleção do melhor misturador é da mais elevada prioridade – a qualidade da mistura determinará a qualidade do produto final.

Composições insuficientemente misturadas deturpam as esperas propriedades do produto e amplia largamente as variações da qualidade.

Necessariamente ao ser avaliada a qualidade da mistura, deve ser levado em consideração não somente os resultados obtidos do produto final, mas também a importância de o misturador produzir com repetibilidade ao longo do tempo.

O misturador deve atender a combinação “melhor mistura com repetibilidade”, associada à redução dos custos e aumento da produtividade.

Ganhos extraídos de instalações em operação com os modernos métodos de homogeneização, evidenciam a importância da tecnologia de mistura, que pode e deve contribuir com aumento da qualidade e da produtividade, redução de custos e melhoria do meio ambiente.

## REFERENCIAS

- 1 MARTINS J., “Abordagem Sistêmico do processo de Pelotização com Ênfase no Pelotamento” – II Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro Caracterização, Beneficiamento e Pelotização – Ouro Preto, outubro/1999.
- 2 VARGAS U.; RIES H.B.; “Mistura e Aglomeração para Pelotização” - I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro Caracterização, Beneficiamento e Pelotização – Ouro Preto, outubro/1996.
- 3 DUARTE J.C.; ANDRADE H.L.; NAKAMURA A.T.; COURA J.C.; BENEVENUTE A.A.; “Briquetes de lama de aciaria em substituição à sucata” - in revista Metalurgia & Materiais edição de junho/1996.
- 4 CONTRUCCI M.A.; CARPITELLI COSTA P.H.; CAMARGO L.M.A.; MARCHEZE E.S.; JACOMINI N.; GONZALES E.L.; TAKANO C.; D’ABREU J.C.; - “Produção de ferro gusa pelo processo Tecnored” – in revista Metalurgia e Materiais edição de maio/1993.
- 5 Artigo “Redução & Fusão” in revista Metalurgia e Materiais – edição de fevereiro/2002
- 6 ROCHA S.H.R.S., artigo “Agglomeration of Steelmaking Residues and the Implication of Its Use in Blast Furnace and Direct Reduction Processes” - Coking, Briquetting and Thermal Waste Treatment Group - RWTH Aachen University.
- 7 REIS W.L.C.R.; VIEIRA A.T.O.; ECHTEMACHT J.H.; OLIVEIRA J.R.; LONGO E.; “Reciclagem da Lama Fina de Aciaria em Pelotas Metalizadas” – XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, maio/2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.