

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA INTEGRADO DE PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE PILHAS HOMOGENEIZADAS DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA A SINTERIZAÇÃO DA CST (1)

ARNALDO VERONEZ JUNIOR (2)  
CLAYTON GERHARDT DE SOUZA (3)  
EDSON LUIS MASSANORI HARANO(4)  
HUGO GUIMARÃES MENEZES (5)  
HUMBERTO LUIZ MARTINS DE OLIVEIRA (5)

---

## RESUMO

A CST tem implementado continuamente melhorias em seus processos produtivos de modo a assegurar a estabilidade operacional e proporcionar ganhos de qualidade.

Dentro desta perspectiva a etapa de blendagem de matérias-primas na Sinterização apresenta importância especial para garantir os bons resultados obtidos na Sinterização e também nos Altos Fornos.

Este trabalho mostra as melhorias efetuadas na área de preparação de matérias-primas da CST, área esta que tem contribuído bastante para atingir os desafios para aumento da produção, qualidade e controle ambiental.

**Key-words:** estabilidade, qualidade, controle ambiental

---

(1) Trabalho a ser apresentado no “VIII Seminário de Automação de Processos”, período de 6 à 8 de Outubro de 2004, Belo Horizonte – MG – Brasil.

(2) Especialista em Automação e Controle de Processo, Departamento de Manutenção de Controle de Processo – CST – Serra – ES

(3) Coordenador de Projetos de Automação – Contraste Engenharia e Automação – Vitória – ES

(4) Especialista de Processo de Sinterização, Departamento de Produção de Gusa – CST – Serra – ES

(5) Especialista de Matérias-primas, Departamento de Produção de Gusa – CST – Serra – ES

## **1. Introdução**

Como principal componente da carga metálica dos Altos Fornos da CST, exige-se que o sinter produzido apresente estabilidade química, física e metalúrgica compatível com as exigências do processo de redução nos Altos Fornos, conferindo ao gusa as características exigidas pela Aciaria.

Dentro do processo de fabricação do sinter, a etapa da blendagem exerce grande influência. É nessa etapa que as matérias-primas que irão compor a mistura base são reunidas de forma criteriosa, seguindo um planejamento pré-definido. Nesse planejamento, as quantidades de cada material são definidas de acordo com a especificação feita pelo cliente, em termos de qualidade e volume de entrega.

Basicamente, a sinterização da CST dispõe de dois pátios de homogeneização, que comportam pilhas com até 140.000 toneladas, constituídas a partir de 07 silos. As pilhas após sua formação, irão alimentar a máquina de sinter, com área de 484 m<sup>2</sup> e capacidade de produção de 6,5 Mt/ano.

## **2. Objetivo**

Apresentar os avanços introduzidos no processo de formação das pilhas homogeneizadas da CST, baseados em uma sólida metodologia de formação, modelamento matemático e controle de matérias-primas.

O sistema automatizado resultante do trabalho descrito acima, utilizou-se de recursos disponíveis no computador de processo do Pátio de Matérias-primas, tais como banco de dados Oracle RDB, desenvolvimento de telas com BGE, linguagem de programação Fortran, etc. Através dos recursos disponíveis, permitiu que o sistema fosse desenvolvido em 06 meses, a partir do conhecimento prévio e domínio das ferramentas pela área de automação da CST.

Serão apresentados ainda os ganhos obtidos, ressaltando os aspectos de qualidade, ambientais, econômicos e de estabilidade operacional.

## **3. Metodologia de Formação e Cálculo – Base do Novo Sistema**

A formação das pilhas homogeneizadas na CST baseia-se no método Chevron: empilhamento de camadas sucessivas, dispostas na direção longitudinal da pilha. A recuperação dessas pilhas é feita pelo blending reclaiming (BR), equipado no caso da CST com 02 rodas de caçamba.

Sabe-se que a limitação do número de rodas de caçamba durante a remoção das pilhas, pode acarretar variações de qualidade no sinter. O problema pode ser minimizado a partir de um rígido controle na formação das pilhas, reduzindo as concentrações químicas e granulométricas em regiões específicas dessa pilha.

Além da preocupação com o posicionamento dos materiais, o modelo de cálculo adotado para a formação das pilhas é baseado na divisão da pilha em diversas camadas, denominadas “pacotes”. Cada um dos pacotes tem sua basicidade pré-definida de acordo com a basicidade da pilha como um todo.

Como será visto a seguir, o sistema desenvolvido foi baseado nestes princípios, oferecendo aos usuários (especialistas da unidade técnica e operadores responsáveis pela formação da pilha), ferramentas que permitem integrar o planejamento, a execução e o controle da pilha, gerando resultados mais estáveis e precisos.

### 3.1. Desenvolvimento do Sistema

Antes da implantação do sistema em janeiro de 2004, todos os procedimentos de planejamento, execução e controle das pilhas homogêneas formadas na CST eram feitos em planilhas eletrônicas, onde as características químicas e físicas das matérias-primas eram digitadas pelos especialistas da unidade técnica. Concluída essa etapa, os dados do planejamento eram disponibilizados para a operação, unidade responsável pela formação - dosagem pré-estabelecida.

Apesar de apresentar bons resultados, indicados pela estabilidade na qualidade do sinter, a automatização do sistema tornou-se fundamental para garantir a constante evolução e consolidação dos resultados obtidos, porque padroniza a operação, reduzindo a variabilidade operacional entre as equipes.

A partir dessa premissa, o Sistema Integrado de Planejamento e Execução de Pilhas Homogêneas de Matérias-primas para a Sinterização foi especificado, sendo contratada a empresa Contraste Engenharia e Automação para o seu desenvolvimento.

O período de contratação, desenvolvimento e implantação foi de cinco meses a um custo aproximado de R\$ 100.000,00

## 4. Arquitetura do Sistema (Hardware e Software)

Para implementação desse sistema foi utilizada a configuração existente no computador de processos do Pátio de Matérias-primas. A figura a seguir representa a arquitetura utilizada para o sistema.

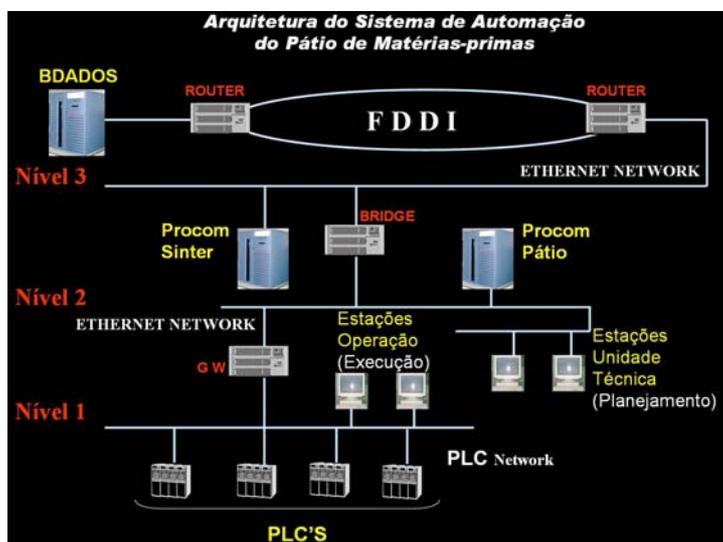


Figura 1 – Arquitetura do Sistema

## 5. Descrição da Solução

O sistema está dividido basicamente em três grandes módulos, que também se dividem em sub-módulos, caracterizados e distribuídos de acordo com a utilização de cada uma das respectivas áreas (unidade técnica e unidade operacional).

### 5.1. Módulo de Planejamento

Esse módulo é utilizado basicamente para o planejamento da pilha a ser formada pela unidade operacional. Além dessa premissa básica proposta nesse módulo, também é possível configurar a distribuição dos materiais nos pacotes, reprogramar a pilha que está em execução, efetuar ajustes de qualidade química e quantidade dos materiais e ainda planejar ou ajustar o carregamento do sinter que será produzido na Sinterização.

As pilhas na CST atualmente possuem cerca de 20 materiais distintos (minérios, recirculados e fundentes) e a fim de facilitar a formação por parte da execução, unidade técnica responsável pela execução e reduzir o impacto na qualidade química quando é necessária alguma intervenção, a pilha é dividida em pacotes. Esses pacotes são configurados previamente no sistema, através da configuração dos pacotes. Nessa configuração deve ser definido para cada um dos materiais qual o seu percentual de concentração em cada um dos pacotes, pois quando os pacotes da pilha forem gerados seguirão essa configuração.

A imagem mostra a interface de usuário do sistema de planejamento de pacotes. O título da janela é "Planejamento - Configuração dos Pacotes".

Na seção "Parâmetros de Configuração da Blendagem", há campos para "Seleção de Materiais":  
Material: CALC-CCFV  
Silo: 2  
Caracterizante: IAO

Abaixo, há uma tabela com os seguintes dados:

Material	Tipo	Silo	Carac.
CAFES-CAFES	FUND	2	SIM
CALC-CCFV	FUND	2	NAO
COMBT-CKOS	COMB	3	NAO
ILMEN-ILFN	CAR_M	7	NAO
MINER-FPTU	CAR_M	6	NAO

Na seção "Distribuição nos Pacotes", há campos para "Pacote" (9) e "Porcentagem" (15). Abaixo, há uma tabela com os seguintes dados:

Pacote	%
1	10
2	10
4	15
5	15
7	10
8	25
9	15
Total	100

Existem botões "GRAVAR", "EXCLUIR" e "NOVO" em ambos os painéis.

Figura 2 – Configuração dos Materiais nos Pacotes

A unidade técnica tem como objetivo principal planejar uma pilha e conseqüentemente um sinter que possua características físicas e químicas e principalmente a basicidade (relação de CaO/SiO<sub>2</sub> ponderada dos materiais) de acordo com as exigências estabelecidas pela unidade técnica dos Altos Fornos. Sendo assim, o sistema permite ao usuário informar os materiais de acordo com a disponibilidade atual, suas características químicas, massas e a basicidade desejada para a pilha em questão. A partir dessas definições, o sistema busca atingir a basicidade desejada, realizando os ajustes necessários na quantidade do material caracterizante da pilha. Esse material caracterizante pode ser

definido pelo usuário na configuração dos pacotes (descrito anteriormente) ou pode ser definido no momento da inclusão dos materiais na pilha.

**Qualidade Química dos Materiais que Compoem a PH**

Material	Peso Seco	Lotex	% H2O	Carac	%	Crit. Sol.	FeT	SiO2	Al2O3	CaO	HgO	TiO2	Mn	P	S
							cz	ZnO	R2O	NaO2	PPC	MV	CF	C	
MINER-STCR	31000.0	4.00	0.0	HRO	26.3	H	65.370	4.800	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	117808.8	26.00					54.682	4.239	0.669	7.035	1.549	0.035	0.394	0.025	0.025

**Qualidade da PH Anterior**

Total	%	Tipos	Crit. Sol.	Carac	FeT	SiO2	Al2O3	CaO	HgO	TiO2	Mn	P	S	Cr	ZnO
					cz	ZnO	R2O	NaO2	PPC	MV	CF	C			
Total	115498.4	10			55.121	4.276	0.800	6.618	1.430	0.045	0.330	0.029	0.022		

**Qualidade Química dos Materiais Donados Via Silos da Sinterizacao**

Material	%	Tipos	Crit. Sol.	Carac	FeT	SiO2	Al2O3	CaO	HgO	TiO2	Mn	P	S	Cr	ZnO
					K2O	NaO2	PPC	MV	CF	C					
CALC-CCFV	4.00	FUND	U	SIH	0.248	5.012	0.743	45.858	7.266	0.000	0.010	0.017	0.016	0.000	0.000
Total	100.0				56.904	4.628	0.728	9.307	1.927	0.037	0.411	0.027	0.026	0.000	0.000

Figura 3 – Tela de Planejamento da Pilha Homogeneizada

Todas as informações do planejamento da pilha, materiais, massas, análises químicas e físicas que são definidas por material, são armazenadas no sistema e o usuário pode utilizá-las no planejamento das próximas pilhas, possibilitando comparar, analisar e duplicar as pilhas já planejadas, facilitando seu trabalho de planejamento e atendendo os requisitos de custo, qualidade e de meio-ambiente que são fatores importantes para um planejamento ideal. As análises químicas e físicas dos materiais são selecionadas em uma base de dados, de acordo com os critérios definidos pelo usuário no momento da inserção do material na pilha. Esses dados podem ser consolidados através da média ponderada nas inúmeras qualidades químicas e físicas de cada um dos materiais. Através dessa facilidade é possível atingir um nível progressivo de refinamento na qualidade química e física dos materiais, possibilitando a formação de uma pilha com excelência em qualidade.

Finalizada a etapa de determinação dos materiais que irão compor a pilha, os pacotes da pilha deverão ser gerados a fim de que a pilha seja liberada para a execução. A composição dos pacotes (materiais x quantidades) é feita com base na configuração dos pacotes determinada pelo usuário. Caso deseje-se efetuar alguma mudança na pilha (materiais) não é necessário replanejar a pilha, pois os pacotes podem ser alterados até a liberação para execução.

Caso a unidade técnica necessite fazer alguma intervenção na pilha já em formação, isto é possível através da funcionalidade de reprogramação da pilha, ou seja, a partir dessa funcionalidade é possível definir novas quantidades para os materiais, alterando ou não a basicidade ou ainda, definir-se uma nova basicidade para que o sistema recalcule a nova massa necessária de material caracterizante. As alterações de requisitos do planejamento são “percebidas” pela unidade operacional, de forma automática, porém somente para os pacotes que ainda não tiveram sua formação iniciada.

Essa lógica se faz necessária, pois na formação da pilha, o sistema busca como objetivo a basicidade definida no planejamento. Caso esse valor seja alterado

durante a formação do pacote haverá comprometimento do IPB (índice de pilha boa) que é a relação entre a basicidade planejada e executada, penalizando assim a unidade operacional.

Após a conclusão da formação que será melhor detalhada na próxima seção, o usuário também pode fazer um ajuste fino nas características químicas (caso onde se utilizou de características históricas no planejamento). Este ajuste é feito para os materiais realmente dosados na pilha. Concluída essa fase de ajuste fino, os dados reais serão enviados à Sinterização e servirão como base para o planejamento e ajuste do carregamento do sinter.

Através do sistema a unidade técnica efetua o planejamento do carregamento da máquina de sinter utilizando-se das mesmas facilidades do planejamento da pilha, acrescentando-se alguns fatores importantes tais como a definição do percentual de sílica permitido no sinter produzido e as características dos combustíveis (material, quantidade, coeficiente de correlação e qualidade química) a serem utilizados.

Após a definição dos materiais que irão compor o carregamento da máquina de sinter, o usuário pode informar a basicidade desejada do sinter e determinar qual o teor de sílica desejado para o sinter. Essa definição é feita a partir da determinação do teor de sílica e da seleção do material caracterizante. Após essas definições o sistema aplica um modelo de cálculo matemático a fim de atingir essas duas variáveis objetivadas (basicidade e sílica). O planejamento do sinter pode ser efetuado de forma integrada ao planejamento da pilha, ou então pode ser efetuado à medida que a pilha está sendo formada, ficando a critério do usuário essa escolha.

Concluída a etapa de planejamento da pilha, passa-se à fase de execução da pilha planejada.

## **5.2. Módulo de Execução**

Nesse módulo, a unidade operacional irá executar a formação da pilha homogeneizada planejada pela unidade técnica.

A partir da tela de controle de execução da pilha são disponibilizados os pacotes que serão formados pela unidade operacional. Quando o pacote é selecionado as suas características são apresentadas de forma automática para o operador que, caso julgue necessário, poderá fazer alterações nesta configuração. Nessa etapa de preparação para iniciar a dosagem, a seqüência de materiais pode ser alterada, assim como suas respectivas quantidades e silo. Não é permitido ao usuário incluir um novo material ou alterar as características químicas. É necessário também informar a umidade de cada material, já que o planejamento é feito com base seca mas o “set-point” e consequentemente a dosagem nas balanças é feita com base úmida.

Quando o usuário informa a umidade, o peso úmido dos materiais é calculado de forma automática e apresentado ao usuário. A umidade e o peso seco dos materiais podem ser alterados a qualquer momento durante a formação do

pacote, sem comprometer a qualidade química, pois o processo faz o controle automático da quantidade de material caracterizante para manter a basicidade desejada – basicidade planejada.

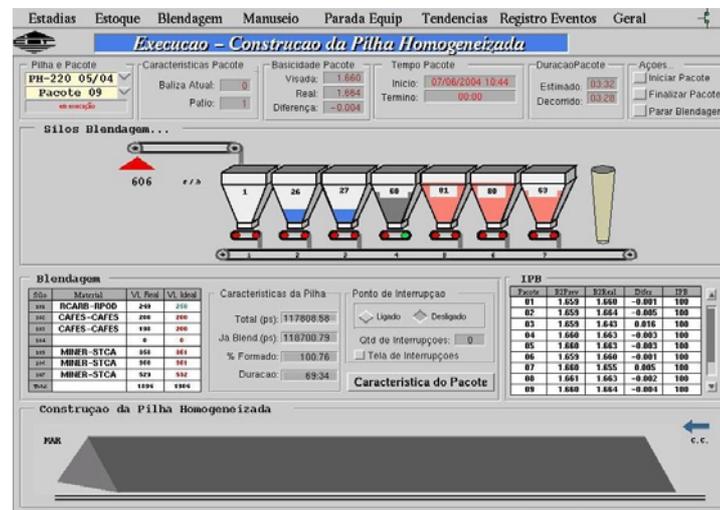


Figura 4 – Tela de Execução da Blendagem

Após a conclusão dessas definições a blendagem deve ser então iniciada, ou seja, a partir desse momento o sistema entrará em funcionamento fazendo as devidas intervenções a fim de dosar o que foi previsto, mantendo a qualidade química planejada. Quando a blendagem é iniciada, o sistema calcula o valor do “set-point” das balanças, levando em consideração a faixa de trabalho de cada balança dosadora. O sistema então calcula o tempo mínimo para dosar cada material previsto em cada balança e a partir daí o sistema define que o tempo da blendagem será o maior tempo mínimo encontrado. É feito então o cálculo do “set-point” para todas as balanças dosadoras de tal forma que todos os materiais sejam dosados simultaneamente em toda a pilha de forma homogênea. Esses cálculos sempre são refeitos a fim de ajustar o valor do “set-point” das balanças dosadoras a cada minuto de funcionamento e atualizar os tempos decorrido e restante da blendagem.

O processo de controle da blendagem possui inteligência suficiente para não permitir que ocorra desvio na qualidade química do pacote dosado, ou seja, a cada intervalo de tempo o sistema verifica o que foi dosado (material, quantidade e característica química) e calcula a quantidade necessária de material caracterizante para atingir a basicidade planejada. Caso a basicidade tenha diminuído, por exemplo, o sistema aumentará a quantidade desse material e recalculará o valor do novo “set-point” para todas as balanças dosadoras, mantendo as mesmas premissas estabelecidas anteriormente. Esses cálculos são feitos enquanto existir material a ser dosado.

A cada uma dessas interações do sistema são apresentadas ao usuário algumas informações relativas à formação, como por exemplo: “set-point” das balanças dosadoras, vazão instantânea, peso úmido dosado e restante, basicidade planejada, basicidade real e IPB (índice de pilha boa). A basicidade real é calculada em função da relação da quantidade de cada material dosado e sua característica química, através da relação de CaO/SiO<sub>2</sub> do pacote como um todo. O IPB está associado à diferença existente entre a basicidade real e

planejada, ou seja, o IPB é um parâmetro cadastrado no sistema que atualmente define que a diferença da basicidade não pode ser maior que 0,03. Caso esse valor seja maior que o parâmetro definido, o IPB do pacote em questão é 0% (zero), caso contrário 100% e está determinado pela unidade técnica que o IPB médio da pilha não pode ser inferior a 85%.

O sistema também possui a flexibilidade de permitir que o usuário defina valor de “set-point” manual para as balanças dosadoras em alguns casos, como por exemplo, afunilamento de material no silo. Porém nesses casos, poderia haver uma probabilidade de ocorrer perda de IPB e a não distribuição homogênea dos materiais em toda a pilha, pois o sistema deixa de controlar a balança dosadora em questão, controlando apenas as demais. Apesar dessa possibilidade, na prática não ocorreu ainda perda do IPB, pois o sistema sempre recalcula novo “set-point” e a basicidade em função dos materiais que já foram dosados, compensando assim a falta ou excesso desse material que está sendo dosado manualmente.

O sistema monitora também os materiais que estão sendo dosados para que não ocorra dosagem isolada de materiais que estão na condição de causadores de impacto ambiental. Caso ocorra essa condição, a blendagem é interrompida imediatamente de forma automática a fim de não provocar uma ocorrência ambiental.

Todos os eventos ocorridos durante a formação e planejamento da pilha, são armazenados no log do sistema, o que permite posteriormente uma análise mais detalhada do funcionamento da blendagem a fim de identificar possíveis desvios.

O sistema possui ainda duas funções que podem ser utilizadas pela unidade operacional que são a correção de degradado (finos do peneiramento de sinter e minérios nos Altos Fornos) e a dosagem de material em posição local. Isto se faz necessário porque, em algumas ocasiões, o degradado é dosado misturado a outros materiais recirculados. Nesta função o usuário informa qual foi a quantidade de degradado dosada e o sistema faz a correção, “descontando” do material “oficialmente” dosado na balança. No caso da dosagem local, às vezes se faz necessário porque a balança não consegue dosar o material por excesso de umidade ou outros fatores, então a operação libera a comporta da balança eliminando a possibilidade de ser registrada a quantidade de material passante. O usuário então informa o total de material que saiu do silo e o sistema inclui essa quantidade de material no total dosado, recalculando assim todas as características químicas do pacote e a quantidade de material caracterizante para atingir a basicidade desejada - basicidade planejada.

Concluída a etapa de formação da pilha planejada, passa-se à fase de remoção da pilha formada e inicia-se novamente a formação de uma nova pilha.

### **5.2.1. Remoção da Pilha Homogeneizada**

Esse sub-módulo da execução merece também um destaque por se tratar do módulo que controla a remoção da pilha homogeneizada, ou seja, esse

módulo é responsável por permitir o acompanhamento da remoção da pilha que será enviada para ser consumida na Sinterização. Através desse módulo é possível acompanhar a quantidade de pilha restante no pátio, velocidade de remoção, tempo de remoção e tonelagem horária, que são informações importantes para garantir o abastecimento dos silos da sinterização.

### 5.3. Módulo de Acompanhamento

Esse módulo tem como objetivo principal prover as informações necessárias, tanto para a unidade técnica quanto para a operacional, do histórico da formação de cada pilha planejada. Os relatórios emitidos nesse modulo são de fácil leitura e compreensão, podendo ser utilizados gerencialmente para acompanhar as atividades executadas.

Essas informações são obtidas a partir dos relatórios disponibilizados pelo sistema onde é possível controlar os materiais e suas respectivas quantidades planejadas e dosadas nos pacotes e na pilha como um todo. Para o acompanhamento do desempenho de formação da pilha, também está disponível o relatório do IPB, que visa identificar se os pacotes foram formados de acordo com a qualidade química planejada. O estabelecimento desse índice atrelado ao controle automático de dosagem de fundentes pelo novo sistema, permitiu que o desvio de basicidade do sinter fosse reduzido em relação aos anos anteriores, conforme será apresentado a seguir.

A unidade técnica tem disponível também um relatório que informa os materiais, suas quantidades e características químicas e físicas que formaram a pilha homogeneizada e que foram utilizados no carregamento do sinter. Nesse relatório também consta o fechamento da qualidade química prevista do sinter que é extremamente importante para definição da qualidade do gusa a ser produzido nos Altos Fornos.

## 6. Resultados

Os resultados obtidos a partir das técnicas e do desenvolvimento do sistema apresentado anteriormente são apresentados nessa seção. Destacam-se os ganhos de qualidade e confiabilidade da pilha formada assegurando ainda a manutenção dos ganhos ambientais.

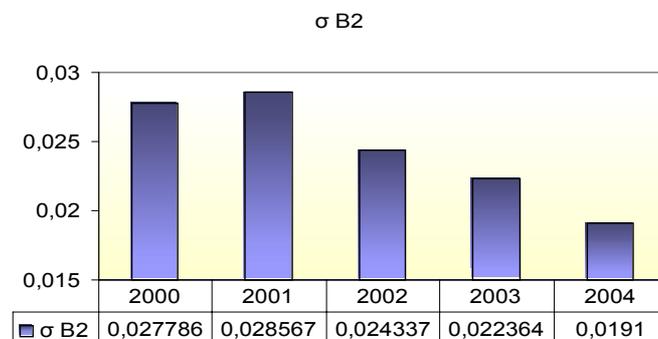


Figura 5 – Redução do Desvio Padrão da Basicidade do Sinter Produzido

Dentre os ganhos de qualidade, o mais relevante é a redução do desvio padrão da basicidade do sinter produzido conforme mostra o gráfico na figura acima. Como mencionado anteriormente, a adoção do IPB (índice de pilha boa), em conjunto com o desenvolvimento do sistema, que indica automaticamente as quantidades ideais de material caracterizante para cumprimento da meta permitiram a evolução desses resultados.

Toda a fundamentação técnica aplicada ao sistema, foi desenvolvida ao longo de mais de 20 anos de operação. Com isto, obteve-se manutenção de altas taxas de consumo de materiais recirculados, com valor acumulado de mais de 6,5 Mt. A política de maximização deste consumo, além do ganho ambiental, propiciou a economia aproximada de cerca de U\$ 60 milhões pela substituição de matérias-primas mais nobres, atingindo da mesma maneira os requisitos de qualidade propostos pelos Altos Fornos.

## **7. Conclusão**

A introdução de melhorias no processo de blendagem, associada à criação de metas específicas, conferiu ganhos substanciais de qualidade ao sinter produto.

Além da redução de variabilidade na qualidade do sinter, a estabilização operacional da planta também é favorecida, contribuindo efetivamente para a estabilidade e prolongamento da vida útil dos Altos Fornos.

# **INTEGRATED SYSTEM OF PLANNING AND EXECUTION ON BLENDING PILES IN CST SINTER PLANT (1)**

**ARNALDO VERONEZ JUNIOR (2)  
CLAYTON GERHARDT DE SOUZA (3)  
EDSON LUIS MASSANORI HARANO(4)  
HUGO GUIMARÃES MENEZES (5)  
HUMBERTO LUIZ MARTINS DE OLIVEIRA (5)**

## **ABSTRACT**

**CST has been continuously implementing improvements in its productive processes in order to ensure operational stability and gains in quality.**

**In this perspective, the phase of blending of raw materials in sinter plant has become specially important to guarantee the results obtained in sinter plant as well as in the blast furnaces.**

**This paper shows the improvements in preparation raw material area in the sinter plant of CST which has helped the company overcome challenges of production, quality and environment control.**

---

**Key-words: stability, quality, environment control**

**(1) Paper to be presented at the “VIII Seminário de Automação de Processos”, October 6-8, 2004, Belo Horizonte – MG – Brazil.**

**(2) Automation and Process Control Specialist, Maintenance and Process Control Department – CST – Serra/ ES**

**(3) Automation Projects Coordinator – Contraste Engenharia e Automação – Vitória/ES**

**(4) Sinter process specialist , Pig Iron Production Department – CST – Serra/ES**

**(5) Raw material specialist of Sinter plant, Pig Iron Production Department – CST – Serra/ES**

---