

# AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO UTILIZANDO LEITO SEGREGADO<sup>1</sup>

*Egídio de Pádua Gondim*<sup>2</sup>

*Éder José Coelho Magalhães*<sup>3</sup>

*Fernando Luiz Câmara Campos Júnior*<sup>4</sup>

*Robert Nogueira de Azevedo*<sup>2</sup>

*Ulisses Gustavo de Oliveira*<sup>5</sup>

*Venícus Eustáquio Gonçalves*<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho avalia o desempenho do processo de sinterização utilizando o sistema de segregação intensa SSW (*Segregation Slit Wire*). A incorporação desta tecnologia pela Gerdau Açominas ocorreu junto com a implantação do Processo HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*). Para esta nova condição, houve a necessidade de adequação das granulometrias das diversas matérias-primas com a finalidade de melhorar o desempenho do processo de sinterização. Desta forma foram realizados estudos para adequação da granulometria da mistura visando ao melhor desempenho do segregador e, por consequência, ao aumento de produtividade. Para analisar o efeito da segregação e da mudança da granulometria, foi utilizada uma metodologia de amostragem da mistura a sinterizar logo após o carregamento da máquina, e do material totalmente sinterizado. Como conclusão, é apresentada a disposição do material no leito da mistura após segregação, bem como o efeito do sistema de segregação no processo de produção de sínter.

**Palavras-chave:** Sínter; Segregação; Granulometria; Leito segregado.

## OPERATIONAL EVALUATION OF THE SINTERING PROCESS USING THE SEGREGATION BED

### Abstract

This work evaluates the performance of the sintering process using the intense segregation system SSW (*Segregation Slit Wire*). The incorporation of this technology by Gerdau Açominas happened at the same time as the HPS (*Hybrid Pelletized Sinter*) process implantation. The new condition demanded a necessity of adaptation of the raw-materials granulometric size, with the objective of improving the sintering process performance. Studies had been done for the adaptation of the mixture's granulometric size with the purpose of reaching the best performance of the segregator and, consequently, the improving of productivity. To analyze the segregation effect and granulometric size changes, a methodology of sampling of the sintering mixture was utilized after the charging of the sinter machine and of the sinter. The samples were collected for all over the height and breadth of sinter machine sector. As a conclusion, the disposition in the bed of the mixture after segregation is showed, as well the effect of the segregation system in the sinter production process.

**Key words:** Sinter, segregation, granulometric, segregation bed.

<sup>1</sup>Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.

<sup>2</sup>Técnico Metalúrgico, Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência da Área de Redução-Sinterização – Gerdau Açominas;

<sup>3</sup>Técnico Metalúrgico, Facilitador de Produção da Célula de Produção de Sínter – Gerdau Açominas;

<sup>4</sup>Engenheiro Metalúrgico, Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência da Área de Redução-Sinterização – Gerdau Açominas;

<sup>5</sup>Engenheiro Metalúrgico, Chefe da Área de Sinterização – Gerdau Açominas.

<sup>6</sup>Engenheiro de Processo – Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência da Área de Redução-Sinterização – Gerdau Açominas.

# 1 INTRODUÇÃO

Com o início de operação do processo HPS pela Gerdau Açominas em outubro de 2005, uma nova condição operacional foi notada. Por se trabalhar com uma mistura a sinterizar consideravelmente mais fina, devido ao aumento da participação da fração inferior a 0,150mm nos minérios utilizados na mistura, foi necessário adequar a granulometria da mistura sob a ótica do Sistema de Segregação Intensa que foi instalado junto com sistema de carregamento da Máquina de Sínter, no mesmo período de instalação do Sistema HPS. O início de operação foi conturbado devido ao desconhecimento dos efeitos do sistema de segregação (SSW) no processo de sinterização e na disposição do leito segregado.

Tendo em vista tal situação, decidiu-se pela realização de amostragens da camada a sinterizar logo após o SSW e da mistura totalmente sinterizada, com intuito de conhecer o comportamento da mistura logo após o sistema de carregamento e depois da queima. Com isso, foram propostas melhorias que visaram aumentar a eficiência do sistema de segregação, o que influenciou na redução da geração de retorno, na redução do consumo de combustível e conseqüente elevação de produção.

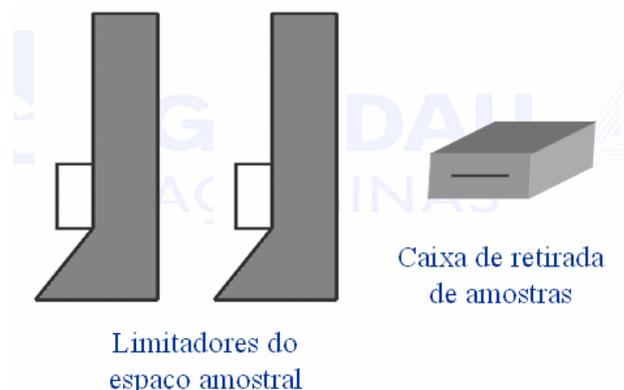
## 2 OBJETIVO

Analisar o comportamento da mistura a sinterizar após o sistema de segregação e verificar a influência das melhorias propostas e o impacto das mesmas sobre o processo de sinterização.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Amostragens da Mistura a Sinterizar

As amostras da mistura a sinterizar foram retiradas logo após o sistema de carregamento da Máquina de Sínter I. Cabe ressaltar que a amostragem foi realizada utilizando um dispositivo “saca amostras” (Figura 1), dispositivo este desenvolvido pela Gerdau Açominas e adaptado para os padrões de amostragem já utilizados.



**Figura 1.** Amostrador de mistura a sinterizar carregada na Máquina de Sínter.

Essas amostras visaram à avaliação da eficiência do Sistema de Segregação Intensa (SSW) através da determinação da composição química e da distribuição granulométrica da amostra em diferentes pontos ao longo do leito, como apresenta a

Figura 2. O procedimento de amostragem é repetido nas regiões norte e sul além do centro.

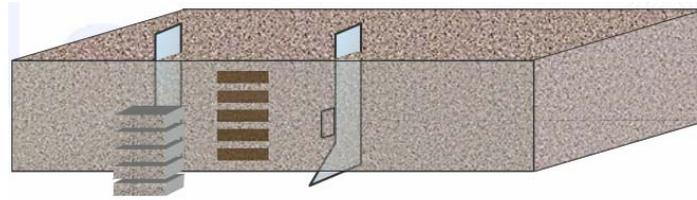


Figura 2. Esquema de amostragem da mistura a sinterizar.

### 3.2 Amostragem do Material Sinterizado

Para amostragem do sinter, foi retirado um setor carregado da Máquina de Sínter. O setor retirado foi posicionado na caixa de vento nº18, escolhido nesta posição por saber que neste local e nas condições operacionais normais a mistura que estava sobre o setor estaria totalmente sinterizada. Foi efetuada a partição do bloco de sinter utilizando um materlete com objetivo de facilitar a remoção e retirar o material que caracterizasse o setor sem danificar o mesmo. O setor foi suspenso utilizando a ponte rolante, de uma forma mais lenta do que a convencional, para evitar a queda do material do setor na caixa de vento. O setor foi posicionado para resfriamento ao lado da máquina de sinter.

#### 3.2.1 Amostragem do material do setor

As amostras foram retiradas do bloco de sinter que estava disposto sobre o setor com a utilização do de um martelete.

O setor foi dividido em partes, sendo amostradas quatro partes, mais três amostras específicas.

Foram retiradas quatro amostras conforme apresentado na Figura 3:

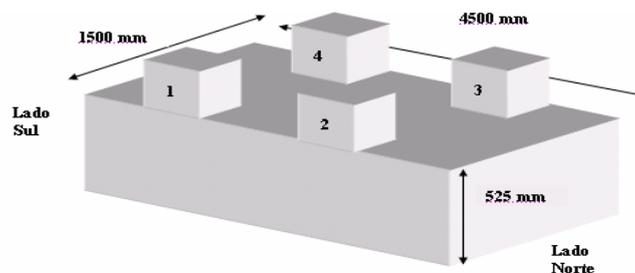
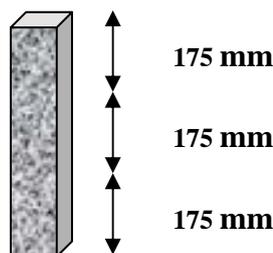


Figura 3 – Disposição dos pontos de amostragem no bloco de sinter

As amostras identificadas com numeração de 1 a 4 foram réplicas para mapeamento do bloco de sinter. Todas tiveram medidas de comprimento de 525 mm e lado da face do retângulo de 200 mm.

#### 3.2.2 Preparação das amostras e análises

Todas as amostras foram submetidas à análise química completa, IR e IDR, sendo que as amostras 1, 2, 3, 4, antes de serem submetidas às análises, foram seccionadas conforme Figura 4:



**Figura 4.** Partição da amostra retirada do bloco de sinter.

As amostras foram analisadas de acordo com a altura de camada, verificando as condições de volume de escória e queima associada à porcentagem de FeO e teste de redutibilidade.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação das variações dos indicadores de qualidade química e física foram utilizados os conceitos de médias normalizadas, que nada mais é que a divisão dos valores individuais pela média do indicador que foi avaliado.

##### 4.1 Análise dos Efeitos da Segregação sobre a Qualidade Química da Mistura a Sinterizar

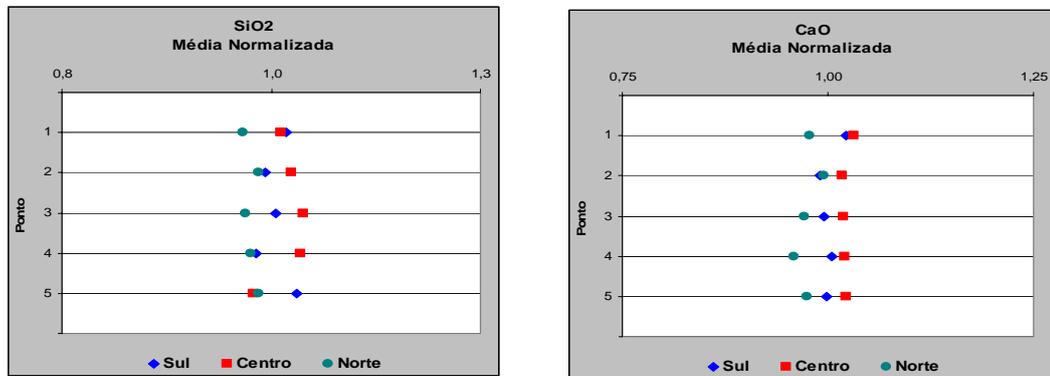
Dentro dessa análise, o que se tem de maior relevância é a matriz de escória além da distribuição de carbono na mistura. A matriz de escória pode ser representada pela soma da porcentagem de SiO<sub>2</sub> e porcentagem de CaO (% SiO<sub>2</sub> + % CaO), levando em conta que estes compostos são os principais constituintes do volume de escória e com forte influência no rendimento e na resistência mecânica do sinter produzido. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pela análise química das amostras:

**Tabela 1.** Resultados das análises químicas da mistura.

PONTOS DE AMOSTRAGEM	Carbono Fixo	Carbono Fixo Norma.	% SiO <sub>2</sub>	% SiO <sub>2</sub> Norma.	% CaO	% CaO Norma.	% SiO <sub>2</sub> + % CaO	% SiO <sub>2</sub> + % CaO Norma.
S-1	4,44	1,13	4,59	1,02	7,57	1,02	12,16	1,02
S-2	3,83	0,97	4,48	0,99	7,34	0,99	11,82	0,99
S-3	3,86	0,98	4,53	1,00	7,37	0,99	11,90	1,00
S-4	3,90	0,99	4,43	0,98	7,44	1,00	11,87	1,00
S-5	3,81	0,97	4,65	1,03	7,40	1,00	12,05	1,01
C-1	4,30	1,09	4,56	1,01	7,64	1,03	12,20	1,02
C-2	4,25	1,08	4,62	1,02	7,54	1,02	12,16	1,02
C-3	4,44	1,13	4,68	1,04	7,55	1,02	12,23	1,03
C-4	4,15	1,05	4,67	1,04	7,56	1,02	12,23	1,03
C-5	3,81	0,97	4,41	0,98	7,57	1,02	11,98	1,01
N-1	3,89	0,99	4,36	0,97	7,25	0,98	11,61	0,97
N-2	4,00	1,01	4,44	0,98	7,38	1,00	11,82	0,99
N-3	3,50	0,89	4,37	0,97	7,20	0,97	11,57	0,97
N-4	3,62	0,92	4,40	0,98	7,11	0,96	11,51	0,97
N-5	3,37	0,85	4,44	0,98	7,22	0,97	11,66	0,98

Legenda: **S** – Sul; **C** – Centro; **N** – Norte.

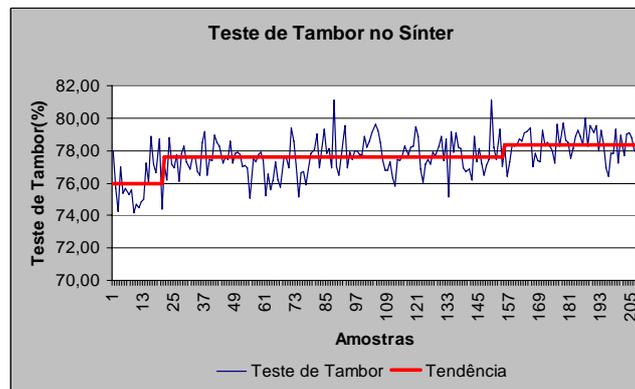
Ao verificar os dados de forma gráfica pode-se notar que não existem variações significativas da % de SiO<sub>2</sub> e % de CaO ao longo da camada. Do ponto de vista de segregação química na mistura a sinterizar, a adequação da distribuição granulométrica foi efetiva, pois não existe interferência do sistema de segregação na distribuição dos elementos no leito e os mesmos estão bem distribuídos ao longo do leito da Máquina de Sínter. Os gráficos a seguir ilustram o fato.



**Figura 5.** Gráficos da distribuição de SiO<sub>2</sub> de CaO no leito segregado.

Ao analisar a matriz de escória nota-se também que o comportamento é semelhante; tal comportamento já era esperado. Isso enfatiza que a distribuição da matriz de escória esta bem uniforme em toda a camada e, sendo assim, se pode inferir que o sinter produzido apresenta uma matriz de escória bem uniforme o que é muito interessante no que se diz respeito à resistência mecânica do sinter.

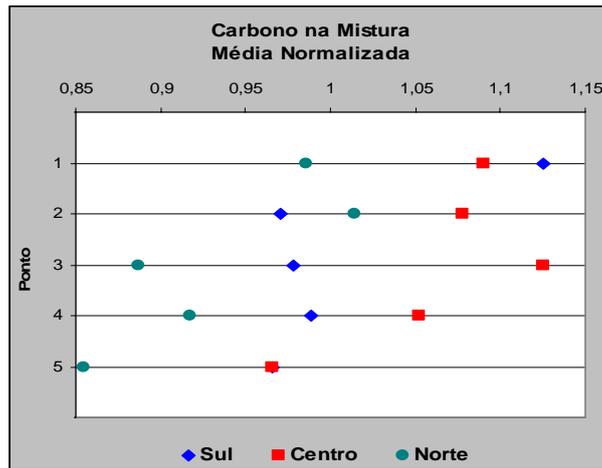
O ganho em resistência mecânica pode ser observado analisando o gráfico seguinte. A uniformidade apresentada pela matriz de escória trouxe uma elevação considerável na resistência mecânica do sinter.



**Figura 6.** Evolução da resitência mecânica do sinter.

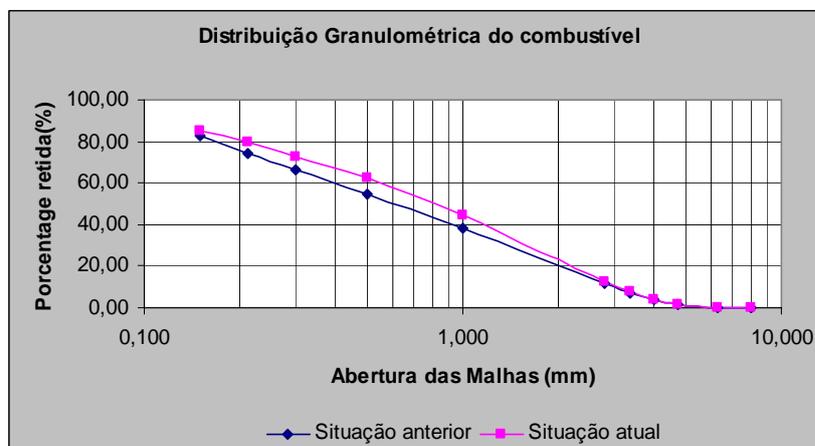
A distribuição de carbono na mistura também é de fundamental importância para produção de sinteres com boa resitência mecânica.

Analisou-se a mistura a sinterizar com objetivo de verificar a variação da % de C ao longo da camada. O gráfico a seguir apresenta a variação de carbono ao longo da camada. Nota-se que realmente há maior concentração de C na parte superior do leito do que na parte inferior.



**Figura 7.** Distribuição de Carbono no leito segregado.

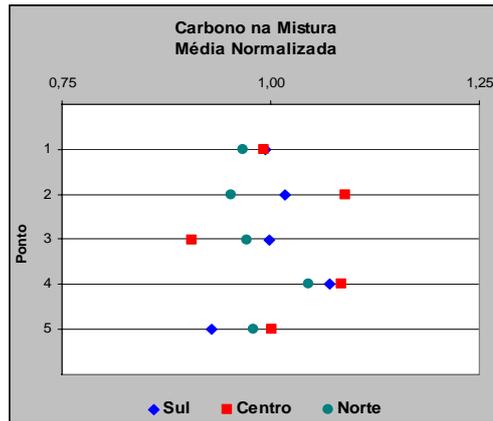
A % de C apresentou uma redução da parte superior para parte inferior da camada, o que representa, em termos percentuais médios redução de 15%. Apesar da literatura<sup>(1)</sup> mencionar a necessidade de se ter maior % de C na parte superior da camada para diminuir a formação do *soft sinter* foi realizado um trabalho de adequação da granulometria do combustível, com a finalidade homogeneizar a distribuição de carbono ao longo do leito. Foram realizadas alterações no sistema de moagem de combustível visando aumentar a fração intermediária do mesmo (0,297mm a 4,00mm) e reduzindo a fração superfina. O gráfico abaixo ilustra bem a atual situação.



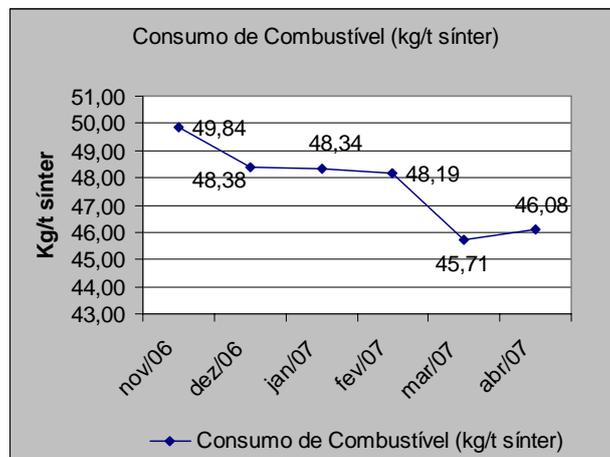
**Figura 8.** Alteração da distribuição granulométrica do combustível.

Com essa alteração a distribuição de carbono no leito ficou mais uniforme, sendo que a fração intermediária tem maior participação na distribuição granulométrica do *mix* de combustível, que por consequência da ação do sistema de segregação, proporcionou o aumento da % de C na parte inferior do leito, resultando em uma distribuição bem equilibrada de combustível ao longo da camada.

A atual configuração da distribuição granulométrica do combustível foi um fator importante na diminuição do consumo de combustível em relação ao que vinha sendo praticado nos últimos meses. Os gráficos a seguir demonstram a melhoria na distribuição da % de C no leito e a redução do consumo de combustível.



**Figura 9.** Distribuição de carbono na mistura após alteração da distribuição granulométrica do combustível.



**Figura 10.** Redução do consumo de combustível.

## 4.2 Análise dos Efeitos da Segregação sobre a Qualidade Física da Mistura a Sinterizar

Sobre o ponto de vista de segregação física, o objetivo do sistema de segregação intensa é forçar as partículas mais grossas de modo a serem direcionadas para o fundo da camada a sinterizar. Esse efeito proporciona o aumento da permeabilidade na região crítica do processo de sinterização (na região inferior do leito) devido à densidade de carga.

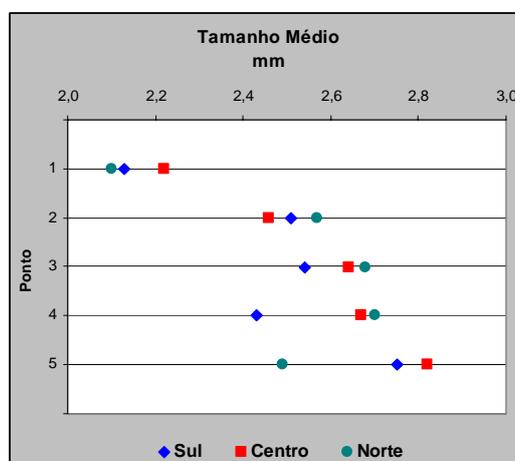
A mistura a sinterizar amostrada foi submetida a uma análise granulométrica para verificar a condição de segregação. O resultado da análise é apresentado na tabela seguinte:

**Tabela 2.** Resultados das análises granulométricas da mistura.

PONTOS DE AMOSTRAGEM	9,50 mm	8,00 mm	4,75 mm	2,83 mm	1,00 mm	0,50 mm	0,25 mm	0,125 mm	< 0,125 mm	TM mm
S-1	0,00	0,51	5,86	21,41	39,49	16,26	6,06	3,54	6,87	2,13
S-2	0,32	0,94	9,21	25,97	36,34	14,03	5,76	3,66	3,77	2,51
S-3	0,91	1,03	9,11	24,26	37,70	14,35	5,81	3,53	3,30	2,54
S-4	0,66	0,66	11,12	22,90	29,74	11,94	16,89	3,05	3,05	2,43
S-5	1,87	0,88	11,76	24,73	34,51	13,19	5,49	3,63	3,96	2,75
C-1	0,12	0,37	6,30	21,60	42,47	15,93	6,17	3,58	3,46	2,22
C-2	0,23	0,69	9,48	24,62	36,65	14,68	6,01	3,82	3,82	2,46
C-3	1,48	1,22	10,25	24,15	34,93	13,90	6,08	3,91	4,08	2,64
C-4	1,23	1,23	11,18	24,57	34,40	13,76	5,90	3,81	3,93	2,67
C-5	2,65	0,99	11,91	24,37	33,52	13,23	5,62	3,64	4,08	2,82
N-1	0,00	0,16	5,18	21,04	41,75	17,31	6,63	4,05	3,88	2,10
N-2	0,98	1,10	9,31	25,49	35,29	14,58	6,00	3,68	3,55	2,57
N-3	1,85	1,37	10,15	24,20	34,54	14,34	5,76	3,71	4,10	2,68
N-4	2,08	0,39	11,69	23,90	34,42	13,77	5,71	3,77	4,29	2,70
N-5	0,83	1,31	8,94	22,88	37,19	14,90	6,44	2,98	4,53	2,49

Legenda: **S** – Sul; **C** – Centro; **N** – Norte.

O efeito de segregação física é notório, ou seja, as partículas mais grossas estão posicionadas no fundo do leito, isso pode ser notado em todos os pontos de amostragem. A figura seguinte ilustra bem o efeito da segregação provocado pelo SSW.



**Figura 11.** Efeito da segregação forçada.

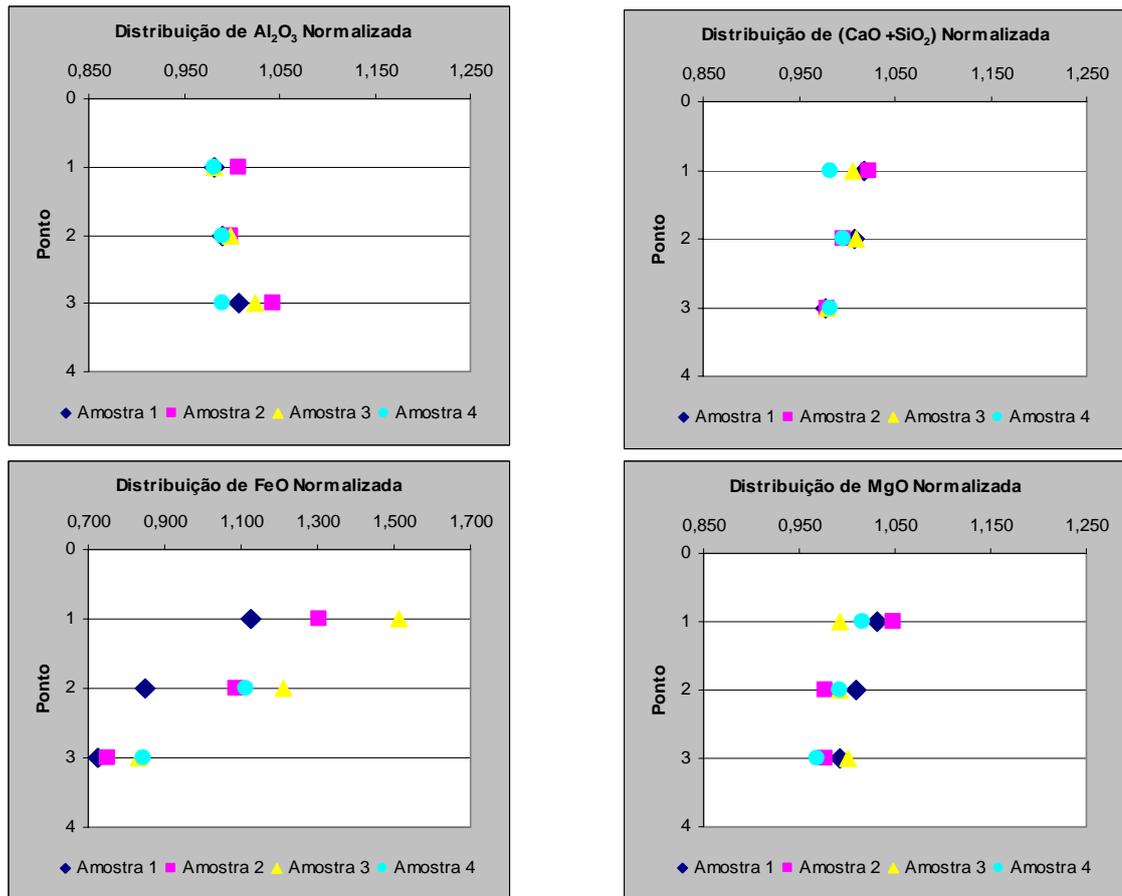
### 4.3 Análise da Qualidade do Material Sinterizado.

As análises do material sinterizado não mostraram nenhuma tendência de segregação química, mas a concentração de combustível na parte superior da camada é de fato comprovada. A % FeO tende a decrescer na medida em que se avança para o fundo do leito. A tabela a seguir apresenta o resultado das amostras:

**Tabela 3.** Resultados das análises químicas.

PONTOS DE AMOSTRAGEM	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	% CaO	% FeO	% FeT	IDR	IR	% MgO	% Mn	% P	% SiO <sub>2</sub>
1 – A	1,14	1,63	8,07	5,70	58,98	30,88	84,16	1,31	0,42	0,05	4,94
1 – B	1,15	1,62	7,95	4,30	58,92	33,20	81,34	1,28	0,41	0,05	4,92
1 – C	1,17	1,61	7,61	3,68	58,98	31,50	81,83	1,26	0,45	0,05	4,88
2 – A	1,17	1,61	8,06	6,61	58,83	34,49	67,65	1,33	0,42	0,05	5,00
2 – B	1,16	1,56	7,86	5,51	58,95	32,16	75,43	1,24	0,44	0,05	4,87
2 – C	1,21	1,67	7,62	3,38	58,88	30,79	78,35	1,24	0,46	0,05	4,89
3 – A	1,14	1,63	8,03	7,66	59,09	34,08	77,95	1,26	0,43	0,05	4,82
3 – B	1,16	1,67	7,99	6,13	58,89	32,72	73,62	1,26	0,43	0,05	4,91
3 – C	1,19	1,57	7,65	4,22	58,93	32,65	80,48	1,27	0,45	0,05	4,86
4 – A	1,14	1,63	8,09	3,20	58,94	39,42	75,64	1,29	0,43	0,05	4,96
4 – B	1,15	1,66	7,94	5,63	59,09	38,41	79,10	1,26	0,42	0,05	4,79
4 – C	1,15	1,59	7,71	4,28	58,99	39,88	82,60	1,23	0,46	0,05	4,84

De fato os dados mostram que a distribuição de Carbono não estava adequada para o processo de sinterização utilizando o sistema HPS. A matriz de escória não apresentou variação significativa. Os gráficos a seguir ilustram a segregação de carbono e enfatizam a uniformidade da matriz de escória.



**Figura 12.** Qualidade do material sinterizado.

## 5 CONCLUSÕES

- As modificações realizadas na mistura de minérios, em relação a distribuição granulométrica, para adequação do Processo HPS geraram bons resultados e não tiveram impacto no que diz respeito à segregação química, ou seja, existe uniformidade na distribuição química da mistura a sinterizar ao longo do leito;
- A distribuição uniforme da matriz de escória ao longo do leito provocou uma considerável melhoria na resistência mecânica do sinter produzido;
- Com a distribuição de carbono mais uniforme ao longo do leito, se tem uma melhor performance no processo de sinterização utilizando o processo HPS, com conseqüente redução do consumo específico de combustível;
- Foi de fato comprovada a eficiência do SSW como dispositivo segregador.

## REFERÊNCIAS

- 1 ISHIKAWA, Y et al. – Recent progress in the sintering technology -High reducibility and improvement of fuel consumption, NSC – 1980.
- 2 ARAÚJO, H. V. et al. – Correlação entre o Volume de Escória e os Parâmetros de Qualidade do Sinter Produto – XXXIII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas – Ouro Preto – MG, Brasil – 09 a 12 de Setembro, 2003.
- 3 PIMENTA, H.P. et al. – Estudo de adequação da granulometria das matérias-primas de sinterização na Usiminas – XXXI Seminário de Redução de Minério de Ferro, ABM, p.:751-765. Santos – SP. 28 de Novembro a 1º de Dezembro, 2000.
- 4 HONORATO, E.P. et al. – Adequação granulométrica do serpentinito para sinterização com leito segregado. – XXXVI Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas e Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, ABM, p.:12-21, v.1. – Ouro Preto – MG, Brasil – 12 a 15 de Setembro de 2006.