

# AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO TESTE DE JATEAMENTO COM SINTER Ox X ESCÓRIA DE COBRE – O CASO SAMARCO MINERAÇÃO SA

**Marco Aurelio dos Santos Machado**

[machado@samarco.com.br](mailto:machado@samarco.com.br)

**Marcos Pascoal**

[marcospascoal@escelsa.com.br](mailto:marcospascoal@escelsa.com.br)

Samarco Mineração SA

Engenharia de Produção - Centro Universitário Vila Velha - UVV - ES

**Ernandes Rizzo**

[ernandes@cefetes.br](mailto:ernandes@cefetes.br)

**Patrícia Alcântara Cardoso**

[patricia@cardoso.com](mailto:patricia@cardoso.com)

Engenharia de Produção - Centro Universitário Vila Velha - UVV - ES

## *Abstract*

*The anticorrosive treatment is important for the prevention against the corrosion in metallic structures and industrial equipment. The main steps are: surface preparation, blasting and application of ink (protective film). In this context, the described test in this paper compares two raw materials used in the process of abrasive blasting. The physical and chemical features, environmental impacts and costs for square meter had been evaluated for application in field and blasting area. The conclusion is: (i) for application in field was more viable, in term of costs, the use of the copper slag and (ii) for application in blasting area the best option was sinter Ox, with a reduction of cost of a third part of the value when using copper slag. The test showed that the two products are efficient and appropriate to any place in the company. The gotten results had served to the best cost between two raw materials, according to which place, it will be used.*

*Key-words: Blasting, Corrosion, Industrial Painting.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A Samarco Mineração SA, empresa brasileira fornecedora de ferro de alta qualidade para a indústria siderúrgica mundial, necessita dos serviços de tratamento anticorrosivo para proteger as estruturas metálicas e equipamentos industriais do meio agressivo em que a empresa está situada, região litorânea do estado do Espírito Santo, e contra as intempéries climáticas da região.

No ano de 2001 foram jateados 23.328 m<sup>2</sup>, sendo 16.428 m<sup>2</sup> realizados no campo e 6.900 m<sup>2</sup> realizados no canteiro (possíveis de serem feitos em cabine).

A causa básica da corrosão é conhecida. Alguns metais apresentam-se numa condição termodinâmica instável e tendem a mudar para uma condição estável, pela formação de óxidos, hidróxidos, sais, etc.. Desta maneira, a corrosão é um processo natural, porém, indesejável. Para combater, ou melhor, atenuar essa tendência termodinâmica dos metais, dispõe-se de vários métodos.

A maioria dos métodos de controle da corrosão consiste em intercalar uma camada protetora entre o metal e o meio corrosivo. Essas camadas protetoras são de formação natural ou artificial e, em alguns casos, simultânea.

Uma superfície bem limpa, livre de ferrugem, graxa, sujeira e umidade é tida como o melhor substrato (superfície) a um recobrimento protetor ou decorativo. A preparação da superfície metálica constitui uma etapa importante na execução de uma pintura industrial, sendo definida pelo esquema de pintura, e é realizada com dois grandes objetivos:

- Remover da superfície materiais que possam impedir o contato direto da tinta com a mesma.
- Criar um adequado perfil de rugosidade, capaz de permitir a ancoragem mecânica da primeira demão da tinta de fundo à superfície metálica que se quer proteger. A rugosidade varia em função da espessura da camada de tinta de fundo.

Durante a preparação da superfície, têm-se um cuidado muito grande é com a rugosidade a ser deixada na superfície, sendo seu índice estar relacionado com o esquema de pintura.

O índice de rugosidade é o fator mais importante no jateamento para posterior pintura. Quanto maior a rugosidade maior será a aderência de tinta, após a eliminação da carepa da laminação ou oxidação, que são os dificultadores para que a tinta tenha a aderência na superfície metálica.

Define-se aderência do substrato como a perfeita e permanente aderência à superfície a ser protegida. É obtida em maior grau pela ancoragem mecânica da tinta nas irregularidades da superfície e, em parte, pelas forças de atração de natureza molecular.

A perda da adesão da película de tinta está normalmente associada a problemas com a tinta (diluição inadequada, incompatibilidade da tinta de fundo com a de acabamento, tempo entre demãos fora do especificação do fabricante) ou a deficiência de preparo da superfície (grau de limpeza inadequado ou baixa rugosidade).

Existem vários métodos de limpeza de superfície, como: limpeza mecânica, limpeza química, limpeza a fogo, limpeza a vapor, etc. (PINTURA INDUSTRIAL NA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA, 1996). Pela natureza da pintura industrial, o objeto de estudo será a limpeza mecânica.

Os principais tipos de limpeza por ação mecânica, de interesse para a pintura de equipamentos e instalações industriais, são: limpeza manual, limpeza com ferramentas mecânicas manuais e limpeza com jateamento abrasivo.

O jateamento abrasivo é o método mais eficiente e o que promove a melhor limpeza para posterior pintura (GENTIL, 1996). É o tipo de limpeza mais adequado e recomendável para a aplicação de pintura, por ser de grande rendimento de execução, proporcionando uma limpeza adequada e deixando a superfície com uma rugosidade excelente para uma boa ancoragem da película de tinta. Apesar de exigir equipamento mais complexo e, conseqüentemente, de custo inicial mais elevado, acaba sendo compensador devido ao rendimento e à qualidade do grau de limpeza da superfície jateada.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Sinter Ox

O sinter Ox é produzido através de um processo que assegura absoluta ausência de sílica livre e altíssima inércia química, podendo ser usado com a maioria dos materiais, sem possibilidade de contaminação.

Seu formato é esférico, com altíssima rugosidade superficial. O grão de sinter Ox tem energia cinética, tornando-o insuperável pelos produtos similares fabricados com óxido de alumínio fundido ou sinterizado (MAQGEO). Total ausência de metais nocivos. Não oxida. A esfera é formada por camadas superpostas a partir de uma semente, isto significa que as camadas formadoras da esfera são todas rugosas, cortantes como a primeira camada.

A esfera quando bate, absorve boa parte do impacto, sem fraturar (quando na pressão de ar comprimido correta). Sendo as esferas menores mais duras e cortantes.

Excelente repulsão aliada a uma dureza uniforme. Com quebra muito baixa, deforma sem quebrar. Produz finos insignificantes, proporcionando um REAPROVEITAMENTO incomparável. O sinter Ox proporciona, ainda, um índice de rugosidade excelente. Não acumula pó residual, reduzindo drasticamente o tempo de limpeza.

A pressão ideal para o bico de jato, compreende de 4 à 5,5 kgf/cm<sup>2</sup>, significando economia de ar.

### 2.1.2 Características do Sinter Ox Esférico

#### Composição Química :

- 0,47 % óxido de silício (SiO<sub>2</sub>)
- 97,50 % óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- 0,50 % óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- 0,08 % óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

**Cor :** cinza claro

**Forma física :** esferas com superfícies rugosa

**Densidade aparente :** 3,50 g/cm<sup>3</sup>

**Densidade real :** 4,90 g/cm<sup>3</sup>

**Composição típica :** óxido de ferro

**Dureza :** Mínima : 862 HV

Médio : 946 HV

Máximo : 1017 HV

**Origem :** usinas de beneficiamento de ferro.

### 2.1.3 Escória de Cobre ( Copper Slag )

A escória de cobre é um abrasivo gerado nos processo de fusão e refino de minério concentrado de cobre. Durante este processo, o ferro contido no concentrado reage e se estabiliza em um silicato ferroso denominado fayalita, que é o principal constituinte da escória. Na unidade de granulação, a escória líquida, em elevada temperatura, entra em contato com um jato de água e se solidifica na forma de pequenos grãos, que são enviados para os secadores rotativos e um sistema de peneiramento, que promovem, respectivamente, a secagem e classificação na granulometria especificada.

É um material granulado, de cor negra, seco, constituído de silicatos estáveis e livre de materiais voláteis. É um material não higroscópico e com maior dureza que a areia. Por ser de cor negra, minimiza a reflexão, propiciando excelente visibilidade no jateamento em interiores. Como a escória pode ser usada a seco (não provoca silicose), aproveita melhor a energia cinética das partículas, sendo mais produtiva que um jateamento úmido, não necessitando também de inibidores de corrosão, que demandam tintas especiais e elevam o custo. A escória de cobre é classificado como não tóxico, não causando danos ao meio ambiente por ser isento de ferro livre, cloretos livres ou sais solúveis em água.

### 2.1.4 Características da Escória de Cobre Granulada

#### Composição Química :

- 85,0 % fayalita Fe<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)
- 11,0 % óxidos e silicatos (Al, Ca, Mg)
- 5,0 % magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)
- 5,0 % cobre estabilizado na forma de óxido, sulfeto e silicato
- 5,0 % tóxicos ( Pb, Bi, As, Ni, Sn, Cd, CO, CrO<sub>4</sub> )

**Cor :** de verde oliva a negra

**Forma física :** granulada (em forma de granalha)

**Densidade relativa :** 3,30 a 3,90 g/cm<sup>3</sup>

**Composição típica :** silicato de magnésio e ferro ferroso (MgSe)<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)

**Dureza :** Mínima : 6,5 Mohs

Máximo : 7,0 Mohs

**Origem :** usina de beneficiamento de minério de cobre.

	Sinter Ox	Escória de Cobre
<b>Pressão do Bico</b>	<b>4,5 kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>7,0 kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>Reaproveitamento</b>	<b>Até 30 vezes</b>	<b>2 vezes</b>
<b>Índice de Rugosidade</b>	<b>Até 70 µm</b>	<b>Até 40 µm</b>
<b>Agilidade na medida em que é utilizado</b>	<b>Aumenta poder de corte</b>	<b>Diminui o poder de corte</b>
<b>Grau de Impacto</b>	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>
<b>Armazenamento</b>	<b>Qualquer lugar</b>	<b>Qualquer Lugar</b>
<b>Metal Pesado</b>	<b>Não tem</b>	<b>Tem</b>
<b>Sílica</b>	<b>Não tem</b>	<b>Não tem</b>

Fonte : MAQGE0 Empreendimentos Ltda. site da Caraíba Metais

Tabela 1 - Comparação entre os produtos

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Jateamento

O jateamento pode ser de quatro diferentes tipos:

1. **Jateamento Ligeiro** ⇒ constitui-se numa limpeza ligeira e precária, em geral pouco empregada para pintura, exceto em alguns casos de repintura. A retirada do produto de corrosão neste caso situa-se em torno de 5%. Correspondente ao padrão Sa1 da Norma Sueca SIS 05 59 00 e ISO 8.501-1 (PINTURA INDUSTRIAL NA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA, 1996);
2. **Jateamento Comercial** ⇒ constitui-se numa limpeza com retirada de óxidos, carepa de laminação, etc., em cerca de 50% da superfície a ser pintada. Corresponde ao padrão Sa2 da Norma Sueca SIS 05 59 00 e da ISSO 8.501-1;
3. **Jateamento ao Metal Quase Branco** ⇒ constitui-se numa limpeza de superfície com a retirada quase total dos óxidos, carepa de laminação, etc., admitindo-se cerca de 5% da área limpa com manchas ou raias de óxidos encrostados. Corresponde ao padrão Sa2.1/2 da Norma Sueca SIS 05 59 00 e da ISSO 8.501-1;
4. **Jateamento ao Metal Branco** ⇒ constitui-se numa limpeza com a retirada total de óxidos, carepa de laminação, etc., deixando-se a superfície do metal completamente limpa. Corresponde ao padrão Sa3 da Norma Sueca SIS 05 59 00 e da ISSO 8.501-1.

O equipamento para jateamento constitui-se, basicamente, dos seguintes componentes:

- Compressor;
- Separador de umidade;
- Filtro de óleo;
- Vaso de pressão;

- Válvula de mistura ar-abrasivo;
- Sistemas de controle remoto;
- Mangueiras;
- Bicos;
- Abrasivos.
- 

O compressor deve fornecer o ar uma pressão da ordem de 0,6 MPa (7 kgf/cm<sup>2</sup>) no bico e uma vazão de ar compatível com o tamanho do equipamento de jato e com o diâmetro interno do bico. O ar deve ser desumidificado no separador de umidade e ter o óleo removido no filtro.

O vaso de pressão deve ser de duplo compartimento e possuir válvula de segurança e uma válvula automática para enchimento.

A válvula de mistura ar-abrasivo deve ser de características compatíveis com o equipamento.

O sistema de controle remoto permitirá o acionamento e a interrupção do trabalho pelo jatista.

As mangueiras fazem a canalização do ar e da mistura ar-abrasivo.

Os bicos podem ser retos ou tipo venturi e fabricados em : cerâmica, ferro fundido, carboneto de tungstênio e carboneto de boro.

O jatista deve ser protegido, para sua perfeita segurança, por um capacete e uma máscara com entrada de ar puro, vestuário adequado e luvas.

Após a operação de jateamento abrasivo, a superfície a ser pintada deve ser limpa com ar seco, removendo-se a poeira proveniente do mesmo, evitando-se assim problemas de deficiente adesão da tinta, bem como eventual impregnação com partículas grosseiras.

### 3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO

Para executar o jateamento com as matérias-primas, sinter Ox e escória de Cobre, foram utilizados 100 kg de cada material. Utilizou-se também, duas chapas de aço carbono, ASTM A-36, com o estado superficial (presença de carepa de laminação), aproximadamente igual, na etapa de aplicação do jateamento abrasivo.

Não houve necessidade de alterações no equipamento de jateamento. Utilizou-se os mesmos recursos, tais como: mão-de-obra e equipamento de jateamento.

O teste foi executado no canteiro (área de jateamento, não sendo em cabine fechada, mas permite o reaproveitamento), onde permite um reaproveitamento da matéria-prima, estando o local à céu aberto.

O dia estava com 26°C de temperatura ambiente, medido com termômetro.

O tempo foi cronometrado para cada execução de jateamento (tipo de matéria-prima, para a quantidade acima citada). Mediu-se também a rugosidade da superfície após o jateamento com um rugosímetro (aparelho para medir rugosidade de superfícies).

O equipamento utilizado para jatear com sinter Ox e escória de Cobre são iguais, por isso os custos de manutenção estão sendo considerados iguais para as duas matérias primas. Utiliza-se a mesma mão-de-obra especializada para a aplicação do jateamento abrasivo na limpeza da superfície metálica.

O processo de jateamento promove a formação de pó, inclusive da ferrugem e da tinta das superfícies jateadas. Por esse motivo, os jateadores e as pessoas nas proximidades devem estar protegidas com equipamentos especiais.

### 4. ANÁLISE COMPARATIVA

A tabela abaixo apresenta os itens acompanhados após o jateamento com os dois produtos. Na composição dos custos da matéria-prima, está sendo considerado o mesmo

valor para custos indiretos, que são: frete, impostos, etc., não impactando assim no resultado final.

Item	Descrição	Und.	Abrasivos	
			Escória de cobre (1º ciclo)	Sinter OX (1º ciclo)
01	Densidade	kg/l	2,3	4,9
02	Granulometria antes do teste	mm	0,5mm à 2,5mm	0,30mm a 3,30mm
03	Padrão de limpeza	-	SA 2.1/2	SA 2.1/2
04	Rugosidade	µm	33,93	21,50
05	Área jateada	m <sup>2</sup>	3,69	4,35
06	Tempo gasto	min.	12	11
07	Pressão de ar	lbs.	90	90

Fonte : Depran Metal Mecânica

Tabela 2 – Resultado do jateamento dos produtos

Podemos observar que, o sinter Ox, foi possível jatear uma área maior em um tempo menor e obtendo um grau de rugosidade menor na superfície da chapa.

CABINE DE JATEAMENTO		
	Sinter Ox	Cobre – Cu
Área jateada (m <sup>2</sup> )	4,35	3,69
Ciclo de reaproveitamento	( teórico ) 30	( real ) 2
Área Total Jateada (m <sup>2</sup> )	130,5	7,38
Custo (100 kg) R\$	73,6	12,565
Custo (R\$) / m <sup>2</sup>	0,56	1,70

Fonte : Depran Metal Mecânica e Maqgeo

Tabela 3 – Análise econômica do jateamento executado no canteiro

JATEAMENTO NO CAMPO		
	Sinter Ox	Cobre – Cu
Área jateada (m <sup>2</sup> )	4,35	3,69
Ciclo de reaproveitamento	0	0
Área Total Jateada (m <sup>2</sup> )	4,35	3,69
Custo (100 kg) R\$	73,6	12,565
Custo (R\$) / m <sup>2</sup>	16,92	3,41

Fonte : Depran Metal Mecânica e Maqgeo

Tabela 4 – Análise econômica do jateamento executado no campo

No jateamento feito em campo não se reaproveita nada da matéria prima, devido as condições severas das estruturas metálicas corroídas e meio onde estão sendo depositadas,

misturando-se com o minério de ferro contido no piso, ou até mesmo o chão, dificultando o seu recolhimento.

## 5. CONCLUSÃO

O teste de jateamento com Sinter Ox e Escória de Cobre foi realizado com o intuito de subsidiar aos prestadores de serviços de jateamento e pintura industrial, com relação à análise comparativa, técnica e econômica, da textura superficial obtida com esses tipos de abrasivos (sinter Ox e escória de cobre).

Uma das maiores preocupações do ponto de vista da saúde dos trabalhadores, é a presença de sílica e metais pesados (cromo – Cr, na forma de cromatos; cádmio – Cd; cobalto – Co; e berílio – Be), por causar doenças profissionais. Somente a escória de cobre apresenta estes metais pesados e, sinter Ox e escória de cobre, isentos de sílica.

Nenhuma das matérias-primas afetam o meio ambiente em que estão sendo aplicadas para a limpeza da superfície, nem na sua forma natural. Ambos podem ser estocados à céu aberto.

É fundamental que as tintas anticorrosivas tenham excelente aderência sobre a base metálica, porque isto evita a propagação da corrosão sob a película protetora.

No gráfico abaixo, está sendo considerado um reaproveitamento teórico de 30 vezes do sinter Ox, sendo que o valor para a escória de cobre é com o reaproveitamento real, praticado pela prestadora de serviço.

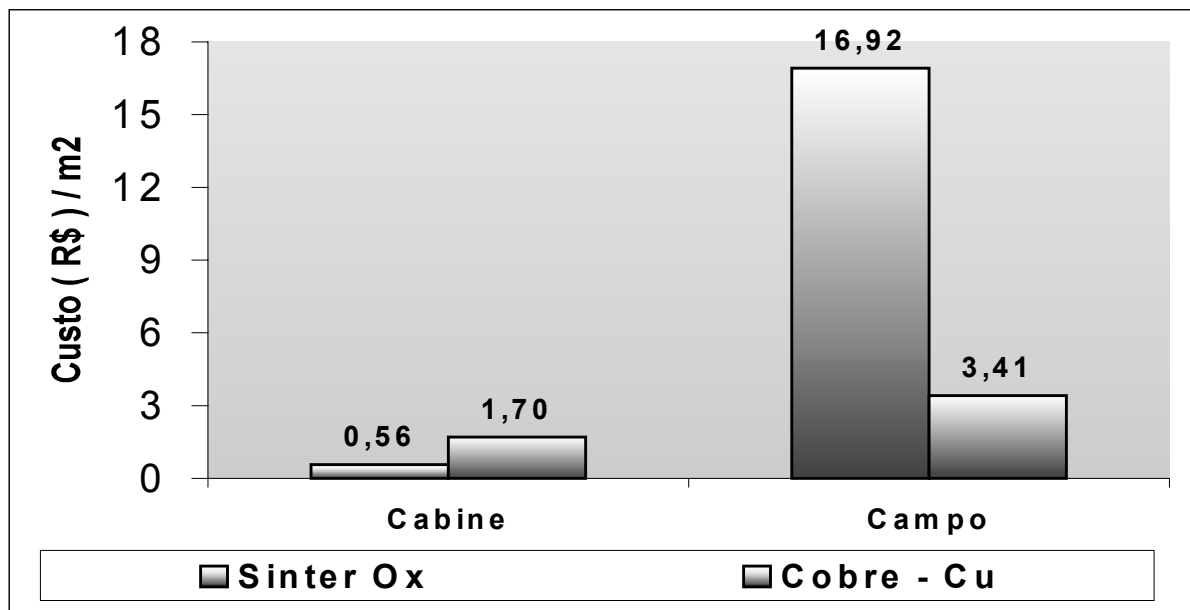


Gráfico 1 – Análise econômica entre os jateamentos

Caso não atinja a quantidade de reaproveitamento para o sinter Ox, 30 vezes, este custo ( R\$/m<sup>2</sup> ) irá aumentar, podendo ultrapassar o custo ( R\$/m<sup>2</sup> ) da escória de cobre. Para que o sinter Ox obtenha vantagem de custos ( R\$/m<sup>2</sup> ) sobre a escória de cobre, terá que ter um reaproveitamento mínimo de 10 vezes em seu processo de utilização, é onde os dois processos tem custos ( R\$/m<sup>2</sup> ) iguais.

A escória de cobre tem um custo inicial baixo, um quinto, em relação ao sinter Ox, por isso que em lugares onde não se consegue reaproveitar a matéria-prima, é viável a sua utilização.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Apostila Minério Macaense Ltda. ‘**Avaliação da Utilização do IRONBALL (Óxido de Ferro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), como abrasivo para jateamento em Pinturas**’. Rio de Janeiro, 2001.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 1996. Páginas 228 à 234 e 250.

JUNQUEIRA, G.T.; TASSINARI, C.ª; FRUGOLI, ªD.; GIANNETTI, B.F.. ‘Pesquisa Tecnológica Direcionada à Indústria Hospitalar de Pequeno Porte : Processo de Tratamento Superficial’. ENGEPE, São Paulo, 2000.

NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O.. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**, 2ª edição, Editora Interciência. Rio de Janeiro. 1998. Páginas 37 à 59 e 189.

SILVA, Ermes Medeiros S da; SILVA, Elio Medeiros da; GONÇALVES, Valter; MUROLO, Afrânio Carlos. **Pesquisa Operacional**. Editora Atlas. São Paulo. 1998. Páginas 12 à 34.

SITE : <http://www.caraiba.com.br> ( Caraíba Metais ), dia 25/03/02 às 10h 40min.

SITE : <http://www.paranapanema.com.br> ( Grupo Paranapanema ), dia 25/03/02 às 10h 50min.

SITE : <http://www.tintassumare.com.br> ( Tintas Sumaré ), dia 26/03/02 às 15h 17min.