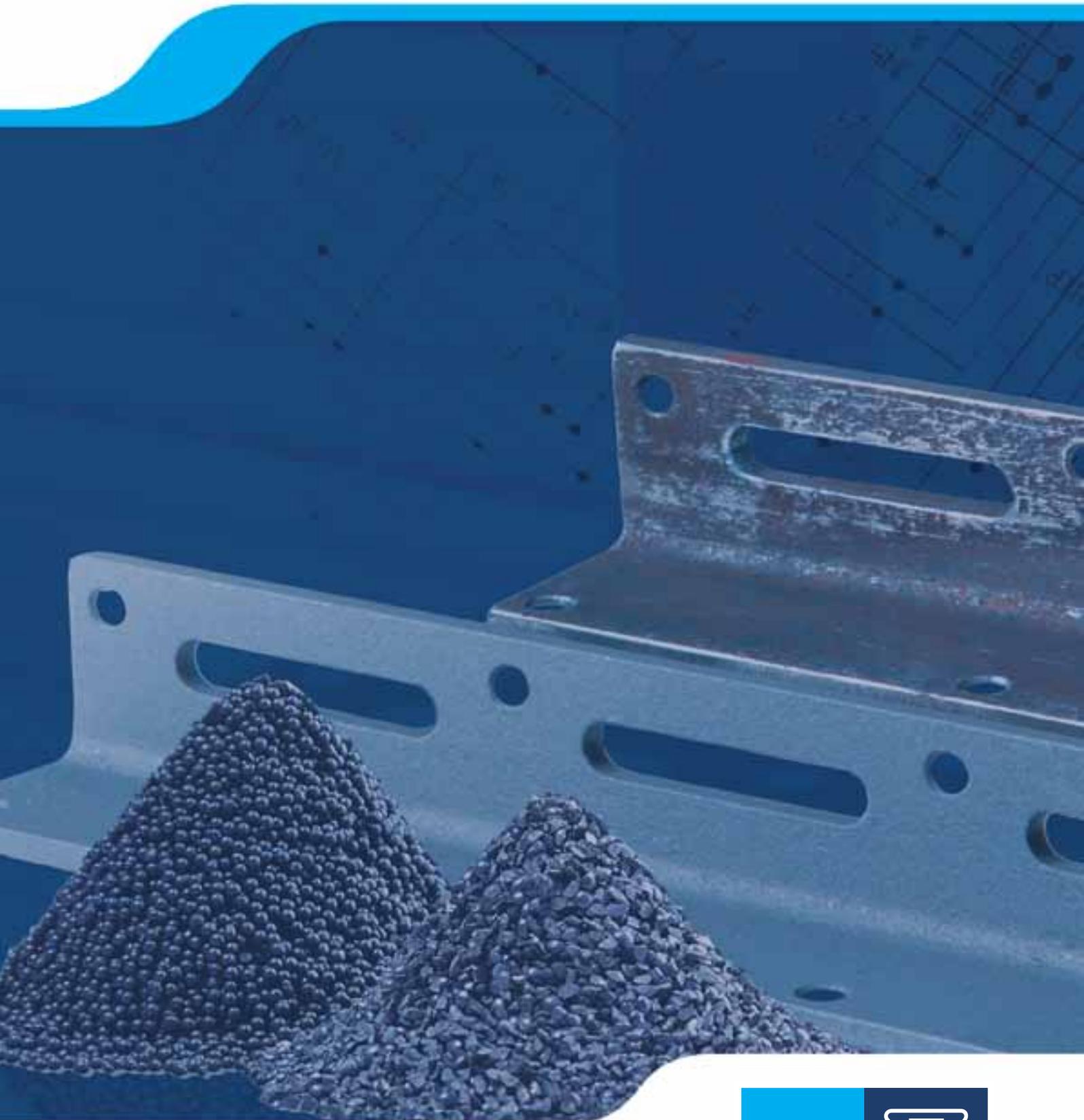


# GRANALHAS TUPY

Acabamento perfeito em qualquer aplicação



Granalhas





<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>1 PRINCÍPIOS DE LIMPEZA POR JATEAMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 FUNÇÕES DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM EQUIPAMENTO DE JATEAMENTO</b> .....	<b>8</b>
2.1 Amperímetro .....	8
2.2 Manipulador de Peças .....	8
2.3 Câmara de Jateamento .....	9
2.4 Separador .....	9
2.5 Coletor de Pó .....	11
2.6 Turbinas .....	11
<b>3 TIPOS DE ABRASIVOS METÁLICOS PARA JATEAMENTO</b> .....	<b>13</b>
3.1 Granalha de Ferro Fundido Branco .....	13
3.2 Granalha de Ferro Fundido Maleável .....	13
3.3 Fios de Aço Cortados .....	13
3.4 Granalhas de Aço Fundidas .....	14
<b>4 ESCOLHA DAS GRANALHAS</b> .....	<b>15</b>
4.1 Perda de Granalhas no Processo .....	15
4.2 Tipo de Acabamento Superficial .....	15
4.3 Grau de Acabamento Superficial .....	15
4.4 Dureza das Granalhas .....	16
4.5 Microestrutura .....	16
4.6 Composição Química .....	17
4.7 Defeitos Físicos .....	17
<b>5 GRANALHAS DE JATEAMENTO</b> .....	<b>18</b>
5.1 Perfil de Rugosidade .....	18
5.2 Granulometria do Abrasivo .....	19
5.3 Tipos de Abrasivo .....	19
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS</b> .....	<b>26</b>

# INTRODUÇÃO

O processo de jateamento de superfícies através da utilização de materiais abrasivos teve seu início há mais de 100 anos quando, em 1870, Tilghman descobriu e patenteou o princípio de limpeza com jato de areia.

Inicialmente, o jateamento com areia era feito a céu aberto, ou em ambientes confinados, sem sistemas de ventilação apropriados. Desta forma, não tardaram a aparecer os primeiros problemas de silicose para os operadores. Desde então, muitas alterações foram introduzidas na técnica de limpeza, desenvolvendo-se novos tipos de equipamentos e de abrasivos.

Os abrasivos metálicos foram utilizados pela primeira vez em 1885, na Inglaterra, porém sua aceitação industrial ocorreu somente por volta de 1920, quando começaram a aparecer evidências das vantagens econômicas e técnicas como: menor desgaste dos equipamentos, melhor acabamento superficial, maior produtividade, menor custo por tonelada acabada, menor volume de material abrasivo manipulado e, principalmente, por evitar a silicose.

Os primeiros abrasivos metálicos a serem largamente utilizados eram produzidos em ferro fundido coquilhado que, apesar de muito superiores às areias, quebravam-se rapidamente, provocando desgaste relativamente rápido do equipamento. Desenvolveram-se, posteriormente, as granalhas de ferro fundido maleável e de aço, e os fios de aço cortados, todos com propriedades muito superiores às de ferro fundido coquilhado. As granalhas de aço são empregadas atualmente em inúmeras aplicações, tais como:

- limpeza de peças após fundição;
- decapagem mecânica de metais;
- rebarbação de peças metálicas, plásticos e borrachas;
- fosqueamento de superfícies plásticas, vidros, metais e cerâmicas;
- “shot peening” de metais;
- outras.

# 1 - PRINCÍPIOS DE LIMPEZA POR JATEAMENTO

A limpeza de uma superfície através do jateamento com granalhas pode ser considerada como uma verdadeira operação de bombardeamento, em que inúmeras partículas abrasivas são arremessadas em alta velocidade contra o alvo.

Imediatamente, antes de colidirem contra o alvo, as partículas estão dotadas de energia cinética, que é diretamente proporcional à massa da partícula e ao quadrado da velocidade, conforme a equação:

$$E_c = (m \cdot v^2)/2 \quad \text{onde,}$$

$m$  = massa da partícula

$v$  = velocidade da partícula

A massa de uma partícula esférica é dada pela relação:

$$m = \rho \cdot (4 \pi \cdot r^3)/3 \quad \text{onde,}$$

$r$  = raio da partícula

$\rho$  = densidade do material

Portanto, a energia cinética de uma partícula esférica é dada pela relação:

$$E_c = \rho \cdot (2/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot v^2$$

As equações acima indicam que podem ocorrer variações significativas da energia cinética do jato com pequenas variações nas quantidades e dimensões das partículas. De fato, considerando-se que a velocidade das partículas, independente de seus tamanhos, é mantida fixa. Observa-se através da relação acima, que a diminuição do raio de uma partícula para a metade de seu valor inicial, corresponde a uma diminuição de 8 vezes a sua energia cinética.

Por outro lado, diminuindo-se o tamanho da partícula, aumenta-se a quantidade de partículas arremessadas pela turbina, na mesma proporção que se diminui a sua energia cinética, conforme pode-se observar na tabela I.

**Tabela 1** - Influência das dimensões das partículas esféricas sobre a sua energia cinética relativa e sobre a quantidade de partículas em um kg de granalhas de aço.

(NO SAE)	Dimensão da Granalha		Quantidade aproximada de partículas novas / kg	Energia de impacto relativa aproximada
	Diâmetro (mm)			
	Nominal	Médio		
780	2,00	2,38	18.100	500
660	1,70	2,00	30.600	300
550	1,40	1,68	51.600	175
460	1,18	1,41	87.300	100
390	1,00	1,17	152.900	60
330	0,85	1,00	244.900	37
280	0,71	0,84	413.100	22
230	0,60	0,71	684.100	13
170	0,43	0,55	1.471.700	6
110	0,30	0,39	4.127.700	2
70	0,18	0,30	9.068.600	1

As partículas sofrem uma violenta desaceleração no instante do impacto, transformando parte da energia cinética em calor, parte em energia de deformação ou de fratura e parte em trabalho de limpeza, restando ainda uma parcela da energia cinética que não é transformada (parte das granalhas sofrem ricochete).

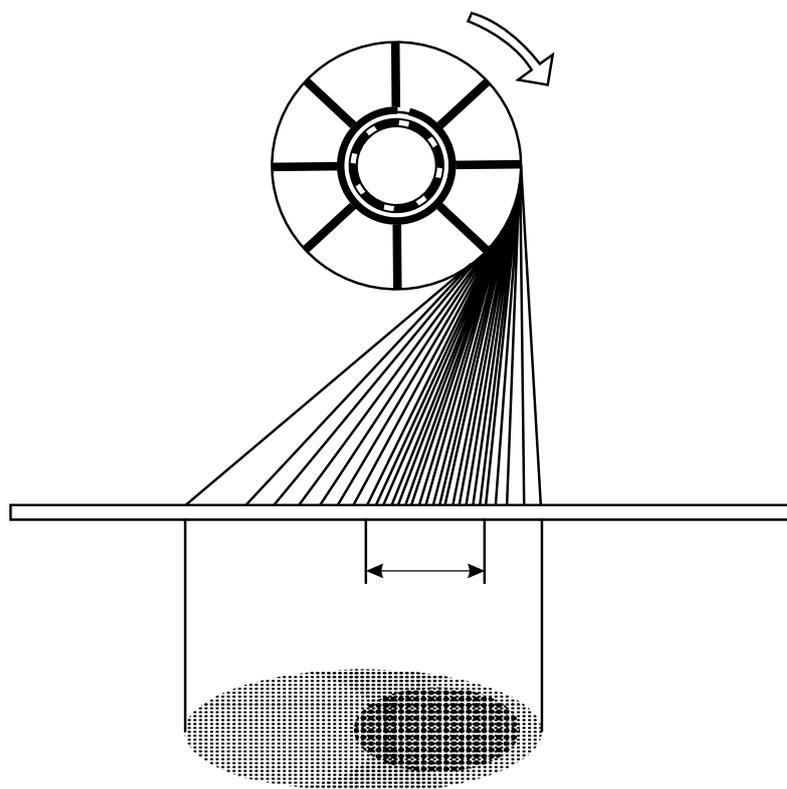
A eficiência da conversão de energia cinética em trabalho efetivo de limpeza depende de fatores relacionados ao ângulo de incidência do jato, às características da granalha utilizada, ao tipo da impureza a remover, etc.

Verifica-se que quanto mais perpendicular for o jato em relação à superfície de trabalho, maior será a componente de energia disponível para o trabalho de quebra das impurezas aderidas à superfície da peça. Neste caso, o acabamento superficial também será mais áspero, pois as granalhas disporão de maior energia para deformar a superfície de trabalho, produzindo relevos mais acentuados. Conseqüentemente, deverão existir inclinações e dimensões de granalhas ideais para diferentes casos, que combinem as dificuldades particulares de quebra e remoção de cada tipo de impureza associada às condições de cada superfície.

No caso de equipamentos dotados de turbinas, quanto menos esféricas forem as granalhas, mais aberto e difuso vai ser o jato, pois o rolamento sobre as palhetas vai ser mais difícil, aumentando a taxa de desgaste e o tempo de contato granalha/palheta. Isto provoca o deslocamento do "ponto quente" e aumenta a dispersão do jato, conseqüentemente, altera a eficiência e a rapidez de limpeza.

O "ponto quente" é a região onde a intensidade do jato é maior, ou seja, onde a energia acumulada de impactos por unidade de área é maior.

Uma turbina arremessa as granalhas sobre uma superfície plana segundo uma distribuição aproximadamente elíptica, conforme pode-se observar na figura 1. Verifica-se, experimentalmente, que a densidade ou intensidade de impacto não é uniforme ao longo da projeção do jato, como seria desejável, observando-se a máxima densidade (ponto quente) junto à região central, conforme apresentado na figura 1.



*Figura 1 - Forma e intensidade de um jato de granalhas projetado sobre uma superfície plana*

Para um mesmo equipamento de limpeza, a localização e as dimensões do "ponto quente" podem variar, por exemplo, em função da regulagem ou do desgaste da capa do rotor, do desgaste do rotor, ou do desgaste das palhetas.

Evidentemente, a otimização da eficiência de limpeza de um sistema de jateamento (composto de equipamento de limpeza, peça e abrasivo), pode ser conseguida se controladas as características e funções de cada um destes componentes.

## 2 - FUNÇÕES DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM EQUIPAMENTO DE JATEAMENTO

### 2.1 - AMPERÍMETRO

O amperímetro permite avaliar a eficiência da turbina, portanto, deve ser inspecionado regularmente, de forma que indique ZERO quando o motor estiver desligado, e a AMPERAGEM ESPECIFICADA no manual do equipamento quando o motor estiver funcionando a plena carga.

A eficiência da turbina pode ser calculada pela seguinte relação:

$$E (\%) = (ALC - ALV) / (AEC - ALV) \times 100 \quad \text{onde,}$$

E = Eficiência

ALC = Amps lidos com o motor sob carga

ALV = Amps lidos com motor em vazio

AEC = Amps especificados sob carga plena

Exemplo:

Um motor de 30 HP consome, funcionando em plena carga, cerca de 38A, e em vazio cerca de 12A. Caso esteja trabalhando com apenas 30A sob carga, sua eficiência será:

$$E (\%) = (30 - 12) / (38 - 12) \times 100 = 69\%$$

Por outro lado, se não fosse considerada a amperagem consumida em vazio, teríamos:

$$E (\%) = 30 / 38 \times 100 = 79\%$$

É importante salientar que uma pequena redução de 8 Amperes sob carga, representou uma queda de 31% na produtividade da turbina, portanto, bastante diferente da redução de 21% que ocorreria se não considerássemos nos cálculos a amperagem consumida com o motor funcionando em vazio.

### 2.2 - MANIPULADOR DE PEÇAS

Existem vários tipos de manipuladores de peças tais como mesas, ganchos, esteiras, barris, etc. Sua principal função é suportar as peças de forma a expô-las aos jatos de granalhas, geralmente através de movimentos giratórios ou de tombamentos sucessivos.

Para conseguir-se a máxima eficiência do equipamento deve-se verificar com bastante atenção:

- a. Se as peças estão corretamente posicionadas sob o jato, a fim de que o recobrimento das peças seja integral, ou seja, todas as superfícies das peças recebam as quantidades necessárias de impactos dos abrasivos, ficando perfeitamente limpas;
- b. Se a área de jateamento está devidamente preenchida, para que o jato não atinja diretamente a esteira ou os revestimentos internos da câmara e, portanto, não ocorram desgastes excessivos e desnecessários dos abrasivos, suportes e blindagens da câmara de jateamento;
- c. Se não foram carregadas peças em demasia, principalmente nos equipamentos tipo barril (tumblast), evitando-se, desta forma, peças mal jateadas por falta de recobrimento e danificações prematuras por sobrecarga dos rolamentos, eixos, esteiras, etc.

## 2.3 - CÂMARA DE JATEAMENTO

A câmara de jateamento tem por finalidade confinar os abrasivos e as peças dentro de um local apropriado durante a operação de jateamento, a fim de que os abrasivos possam ser reaproveitados e recirculados. Além disso, deve-se conferir a segurança necessária às pessoas que circulam próximas ao equipamento.

Os vazamentos e os arrastes de granalhas para fora do sistema de recirculação do equipamento podem diminuir a eficiência do separador, e tendem a reduzir o nível do reservatório de granalhas, podendo até faltar granalhas nas turbinas.

Desta forma, todo e qualquer vazamento através das estruturas da câmara e das turbinas, dos selos das portas e arraste excessivo de abrasivos, deve ser prontamente reparado para que não ocorram aumentos dos custos da operação de limpeza, e se evitem acidentes de trabalho.

## 2.4 - SEPARADOR

O separador é um dos mais importantes componentes do equipamento de jateamento, cabendo-lhe as seguintes atribuições básicas:

- a) Controlar a remoção de contaminantes (corpos estranhos, não magnéticos, etc.) do mix de operação, influenciando sobre os custos de manutenção;
- b) Controlar os tamanhos das partículas abrasivas no "mix de operação", que tem efeito direto sobre a velocidade de limpeza e, conseqüentemente, sobre os custos da operação.

Os separadores mais modernos removem o pó e as partículas finas consideradas inativas, por meio de um fluxo de ar, que passa através dos abrasivos contaminados, que caem em forma de cortina, conforme apresentado na figura 2.

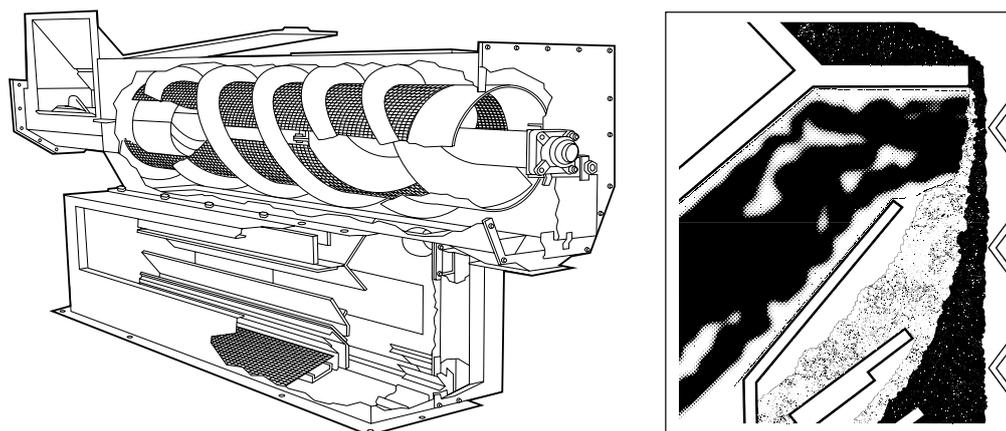


Figura 2 - Separador do tipo BE da Pangborn, que possui três zonas de separação.

A operação de forma eficiente do separador requer:

- a regulagem do fluxo de ar de lavagem, através da cortina de abrasivos a serem recuperados, de forma que somente as partículas inativas sejam descartadas;
- que a cortina de abrasivos apresente-se contínua e com espessura uniforme por toda a extensão da abertura do fluxo de ar de lavagem;
- que a vazão de abrasivos na cortina seja compatível com o volume de abrasivos em recirculação no sistema.

Caso a cortina esteja muito espessa, nem todas as impurezas poderão ser removidas, além do que, a cortina tenderá a ficar interrompida devido à vazão excessiva de granalhas.

Caso a cortina fique interrompida ou incompleta, o ar fluirá pela trajetória de menor resistência, ou seja, pelas falhas da cortina. Conseqüentemente, poderão ocorrer os seguintes problemas:

- permanência de impurezas no mix de operação, reduzindo a eficiência do jato;
- o ar passará livremente através das interrupções na cortina em velocidade acelerada, removendo das bordas da cortina, partículas abrasivas ainda úteis.

Em regime de operação estabilizada encontram-se granalhas de diferentes tamanhos, devido ao desgaste natural (por quebra, abrasão ou fadiga) durante trabalho. Desta forma, ao se colocar pela primeira vez o equipamento em operação, deve-se carregá-lo, preferencialmente, com 3 ou 4 tamanhos diferentes de granalhas, para que se atinja rapidamente a estabilização.

Dados extraídos de literatura, apresentados na Tabela 2, mostram as distribuições granulométricas comparativas de granalhas S-460 produzidas com fios de aço cortados, aço fundido e ferro fundido coquilhado, após ensaio no mesmo equipamento de limpeza. Observa-se que a distribuição granulométrica, após estabilização, é bastante diferente entre os distintos materiais, havendo maior proporção de partículas mais grossas para os materiais de maior durabilidade, ou seja, fios de aço e granalhas de aço.

A experiência tem demonstrado que, quando se trabalha com distribuição de granalhas muito grossas, ou muito finas, pode-se aumentar o tempo de limpeza em até 30%, significando um grande desperdício de tempo, além do desgaste desnecessário do equipamento e das granalhas.

**Tabela 2** – Distribuição granulométrica de granalhas S460 produzidas com diferentes materiais, após atingir-se a estabilização.

Abertura da Malha (mm)	Quantidade Retida em cada Peneira		
	Fio de Aço Cortado	Granilha de Aço	Ferro Coquilhado
1,18	60	45	10
0,85	25	30	20
0,60	10	15	35
0,42	5	10	25
0,30	0	0	10

Para se manter a estabilização é necessário que se façam adições de granalhas novas com bastante frequência e em pequenas quantidades, caso contrário, a eficiência de limpeza sofrerá profundas oscilações ao longo do tempo.

Caso as reposições de granalhas novas aconteçam somente após a constatação da falta de granalhas nas turbinas, imediatamente antes da reposição, haverá apenas partículas muito finas no jato e, logo após a reposição, que normalmente se faz até completar novamente todo o reservatório de abrasivos, haverá somente partículas grossas no jato. Neste caso, as quantidades relativas de partículas grossas, médias e finas no jato estarão sempre variando ao longo do tempo, ou seja, não acontecerá a estabilização do jato.

## 2.5 - COLETOR DE PÓ

O coletor de pó é, via de regra, o componente menos entendido e mais negligenciado de uma máquina de jateamento pois, normalmente, encontra-se localizado do lado de fora do prédio. A finalidade do coletor de pó é eliminar e reter o pó gerado durante a operação de limpeza.

Para se assegurar o funcionamento correto do coletor de pó, deve-se verificar:

- a) se a rotação do ventilador está correta;
- b) se as correias do ventilador estão devidamente tensionadas;
- c) se os filtros estão em boas condições (sem furos e sem malhas muito abertas ou obstruídas);
- d) se os sistemas de vibração e limpeza dos filtros estão operando eficientemente;
- e) se os compartimentos do filtro estão livres de pó;
- f) se o nível de pó no silo não está elevado;
- g) se os selos do coletor de pó não estão danificados e se a velocidade do ar nas tubulações está dentro das especificações;
- h) se a válvula de descarga de pó está em boas condições e fechada, enquanto o equipamento está ligado;
- i) se as tubulações de ar estão desobstruídas e sem vazamentos em toda sua extensão;
- j) se o fluxo de ar está devidamente ajustado para remover apenas pó, e não abrasivos.

## 2.6 - TURBINAS

As turbinas são as principais componentes de um equipamento de limpeza. Têm a função de acelerar e arremessar os abrasivos contra a superfície a ser jateada, mantendo sempre constantes a velocidade e o peso total das partículas, além da forma e da focalização do jato.

A figura 3 apresenta um modelo típico de turbina de palhetas retas, em que se podem observar os principais componentes da turbina, que são: as palhetas, o rotor e a capa do rotor.

As partículas aceleradas pela força centrífuga da turbina alcançam, normalmente, velocidades da ordem de 70 (252 km/h) a 80 m/seg (288 km/h).

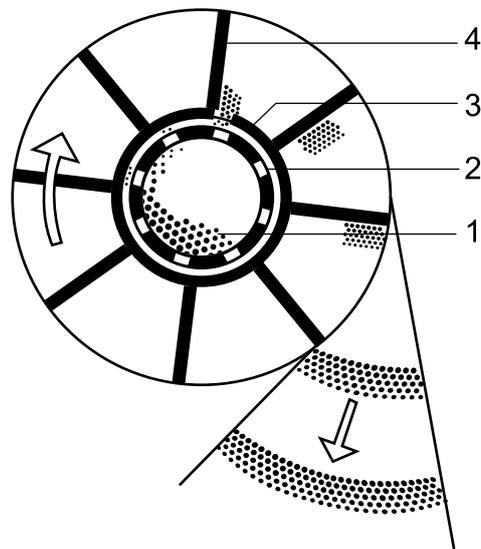


Figura 3 - Turbina de palhetas retas mostrando os abrasivos (1) sendo captados pelo rotor (2), saindo pela abertura da capa do rotor (3), e sendo aceleradas e arremessadas pelas palhetas (4).

As rotações das turbinas estão inversamente relacionadas aos seus diâmetros, ou seja, turbinas com diâmetros menores trabalham com rotações maiores, para que as velocidades de escape das partículas sejam, via de regra, sempre as mesmas, independente do tamanho da turbina. Por exemplo, uma turbina com disco de diâmetro 19,5 pol. (495mm) gira, normalmente, a uma rotação de 2250 rpm, enquanto uma de diâmetro 15 pol. (381 mm) gira a 2900rpm, ambas arremessando os abrasivos à velocidade de cerca de 80m/s.

O desgaste irregular das palhetas, com o aparecimento de sulcos ou o afinamento localizado em determinadas regiões, altera a trajetória das partículas deslocando o ponto quente do jato.

O deslocamento do ponto quente do jato produz uma acentuada redução da capacidade de limpeza do equipamento. Conseqüentemente, aumenta-se o tempo necessário de jateamento, o desgaste do equipamento e o consumo de abrasivos, portanto, elevando os custos da operação de limpeza.

Devido à elevada rotação do rotor da turbina, as palhetas devem estar todas sempre bem balanceadas. Assim, ao se substituir uma palheta quebrada, recomenda-se trocar todas as demais palhetas da mesma turbina. Como regra geral, recomenda-se que a diferença admissível de peso entre as palhetas de um mesmo jogo seja de no máximo 5g.

O desgaste excessivo do rotor tende a diminuir a quantidade de partículas no jato, enquanto o desgaste excessivo da capa do rotor tende a produzir, por exemplo, o deslocamento do ponto quente e uma maior dispersão do jato.

Como se pode observar, o bom funcionamento da turbina e, conseqüentemente, de todo o equipamento de limpeza, depende das boas condições de manutenção e regulagem de todos os seus componentes.

## 3 - TIPOS DE ABRASIVOS METÁLICOS PARA JATEAMENTO

Os principais tipos de abrasivos metálicos utilizados para a limpeza ou o acabamento de peças ferrosas são, normalmente, produzidas em ferro fundido ou em aço, podendo apresentar-se nas formas angular ou esférica.

As granalhas são classificadas pelas suas formas e tamanhos, de acordo com normas específicas, tais como SAE J444 e SFSA 20-66. Além destas, existem normas complementares, tais como SAE J445, que especifica os ensaios mecânicos nas granalhas metálicas, e SAE J827, que estabelece limites para os desvios de forma, composição química, microestrutura, dureza e contaminantes não magnéticos.

### 3.1 - Granalha de Ferro Fundido Branco

As granalhas produzidas em ferro fundido branco (coquilhado) foram as primeiras a aparecer no mercado, em substituição à areia de jateamento.

Apresentam dureza muito elevada (acima de 700HV), mas quebram-se facilmente por serem muito frágeis. Desta forma, tornam-se angulares muito rapidamente, desempenhando ação de limpeza rápida, além de produzirem uma superfície mais rugosa do que com granalhas esféricas, portanto, de boa ancoragem para tratamentos superficiais posteriores. Em contrapartida, sua durabilidade é bastante baixa, além de produzir desgaste intenso dos componentes do equipamento de limpeza.

Encontram aplicações, por exemplo, em operações de jateamento em que a recuperação do abrasivo não é possível e, paralelamente, não se pode utilizar a areia devido a problemas de saúde.

Uma outra aplicação bastante comum para as granalhas de ferro fundido branco é no corte de mármore e granitos.

### 3.2 - Granalha de Ferro Fundido Maleável

As granalhas de ferro fundido maleável são produzidas a partir das granalhas de ferro fundido coquilhado, através do tratamento térmico de maleabilização.

Apresentam dureza entre 250 e 450HV, e dimensões entre 0,6 e 2mm.

Sua ação de limpeza é menor que a das granalhas de ferro fundido branco, entretanto, sua durabilidade é, no mínimo, duas vezes maior devido à sua maior tenacidade. Apresentam vantagem adicional de serem menos abrasivas do que as de ferro fundido coquilhado e, portanto, desgastarem menos os equipamentos de limpeza.

Atualmente, são pouco utilizadas, já que a sua relação custo-benefício é inferior à das granalhas de aço.

### 3.3 - Fios de Aço Cortados

São produzidos a partir de fios de aço, cortados em comprimentos aproximadamente iguais aos seus diâmetros.

Os materiais mais adequados para a produção deste tipo de abrasivo são os aços "corda de piano", que são fios de aço de composição eutetóide, submetidos ao tratamento térmico de patentamento.

Estes materiais apresentam ótimas combinações de resistência mecânica e tenacidade, desempenhando ação de limpeza muito boa e ótima durabilidade. Porém, seu custo é bastante elevado.

Atualmente, são utilizados em aplicações muito específicas como, por exemplo, em algumas operações de shot peening.

### 3.4 - Granalhas de Aço Fundidas

As granalhas de aço surgiram comercialmente no mercado europeu na década de 50, tendo aumentado progressivamente sua aceitação em substituição às areias e aos demais tipos de abrasivos metálicos utilizados para limpeza de superfícies, principalmente de peças fundidas.

As granalhas são produzidas pelo processo de atomização, onde o aço líquido com alto teor de carbono é vazado sobre um jato de água pressurizado. Após este processo, as granalhas são pré-classificadas em função de seus diâmetros, e temperadas em fornos com atmosfera protetora.

As granalhas grandes são quebradas gerando as granalhas angulares, podendo ser revenidas ou não em baixas temperaturas.

As granalhas esféricas menores são revenidas de acordo com a classe de dureza exigida, obtendo-se, desta forma, granalhas para jateamento, shot peening e para corte de pedras.

As granalhas esféricas comuns para jateamento são, normalmente, revenidas para alcançarem durezas na faixa de 40 a 50 HRC, conforme estabelece a norma SAE J827.

As granalhas para shot peening apresentam durezas na faixa de 50 a 60HRC, e acima de 60HRC como, por exemplo, nos casos de shot peening de engrenagens cementadas, temperadas e revenidas.

Granalhas com faixas de durezas especiais também podem ser produzidas, dependendo de acordos prévios entre o cliente e o fabricante.

A norma SAE J827 especifica para as granalhas de aço hipereutetóides com teores de carbono entre 0,85% e 1,20%, manganês entre 0,35% e 1,20%, e silício entre 0,40% e 1,50%, além dos elementos residuais fósforo e enxofre que não podem ultrapassar o limite de 0,050%.

Atualmente, já se dispõe de granalhas fundidas de aço de baixo carbono (abaixo de 0,15% C), com poder de limpeza equivalente às granalhas de aço comuns (hipereutetóides) para jateamento (40 a 50HRC), mas com durabilidade superior. A norma SAE J2175 estabelece as características para tais tipos de granalhas.

Um abrasivo para jateamento deve limpar com rapidez e eficiência, ter boa durabilidade, desgastar o mínimo possível os componentes internos do equipamento, e produzir o nível de acabamento superficial desejado, ao menor custo possível.

## 4 - ESCOLHA DAS GRANALHAS

Existem diversos tipos de abrasivos metálicos e não metálicos, muitos dos quais podem ser utilizados numa mesma aplicação. Entretanto, cada qual apresenta propriedades específicas que podem ser vantajosas ou não para cada caso.

Desta forma, a escolha de um abrasivo pode tornar-se bastante subjetiva, caso não sejam obedecidas determinadas regras básicas já consagradas.

### 4.1 - Perda de Granalhas no Processo

Existem determinadas situações em que as perdas de abrasivos, por arraste junto com as peças para fora do sistema de recirculação, são inevitáveis e bastante significativas. Em outros casos, o equipamento de jateamento não permite a recuperação e reclassificação dos abrasivos de forma contínua e automática, tornando extremamente oneroso o seu reaproveitamento.

### 4.2 - Tipo de Acabamento Superficial

A escolha de granalha angular ou esférica dependerá das exigências de acabamento superficial. Assim, recomenda-se a utilização de granalhas angulares quando, por exemplo, a peça após limpeza for submetida a tratamento superficial de galvanização ou pintura de responsabilidade. Nestes casos, obtém-se uma superfície mais rugosa, que apresenta melhor ancoragem para as deposições superficiais.

### 4.3 - Grau de Acabamento Superficial

O grau de acabamento superficial produzido pela operação de jateamento depende dos tamanhos e formatos das partículas do jato, velocidades e durezas relativas entre as partículas e a superfície da peça e do ângulo de incidência das partículas.

Assim, quando a operação de jateamento for de uma simples limpeza, por exemplo, após fundição, recomenda-se utilizar o menor tamanho de granalha, compatível com o grau de acabamento superficial, pois as granalhas menores produzem acabamento mais fino e apresentam maior grau de recobrimento, ou seja, a quantidade de impactos por unidade de tempo é maior. Por exemplo, utilizando-se granalha S-330, obtém-se cerca de cinco vezes mais impactos por unidade de tempo do que com a granalha S-550.

Experimentalmente, verifica-se que a presença de granalhas grossas no jato serve para quebrar os filmes de carepa, areia queimada, ou óxidos na superfície da peça, enquanto as granalhas médias e finas servem para limpar e dar acabamento à superfície.

### 4.4 - Dureza das Granalhas

A dureza das granalhas exerce grande influência sobre sua própria durabilidade e capacidade de limpeza, além de afetar a taxa de desgaste do equipamento.

As granalhas mais duras limpam, via de regra, mais rapidamente, entretanto, a partir de determinados níveis de dureza, tornam-se excessivamente frágeis e quebradiças, acelerando o desgaste do equipamento de limpeza. Por outro lado, as granalhas de menor dureza apresentam maior durabilidade (vide figura 4) e produzem menor desgaste do equipamento, porém deformam-se mais facilmente, absorvendo parcela considerável da energia cinética disponível para o trabalho de jateamento.

Recomenda-se trabalhar com dureza entre 42 e 48HRC para que se consiga a melhor combinação de durabilidade e eficiência de limpeza, já que ambas as propriedades caminham em sentidos opostos com o aumento da dureza da granalha.

**Ensaio de Durabilidade de Granalhas**

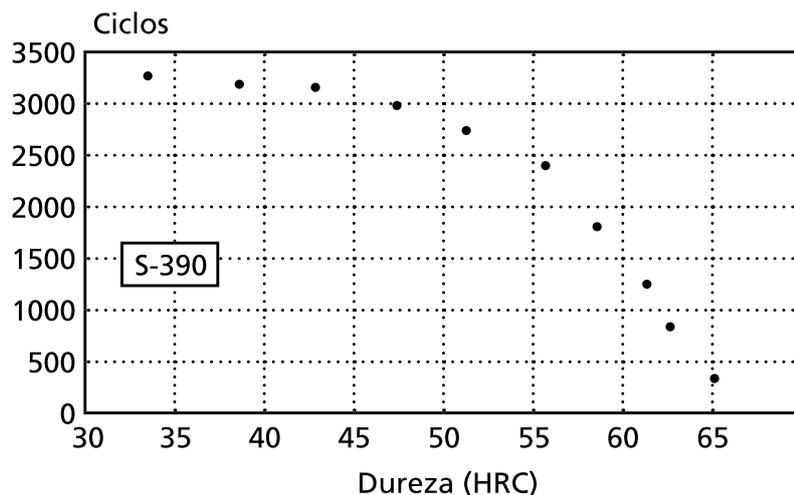


Figura 4 - Efeito da dureza sobre a durabilidade de granalhas de aço esféricas S-390, submetidas ao ensaio de vida útil em equipamento Ervin.

### 4.5 - Microestrutura

As granalhas de aço temperadas e revenidas apresentam a melhor combinação de propriedades de resistência ao desgaste e tenacidade, quando sua microestrutura é composta de martensita revenida fina, sem a presença de carbonetos em rede.

A presença de carbonetos em rede contínua torna as granalhas muito frágeis e quebradiças, enquanto o aparecimento de perlita, ferrita ou de austenita retida em meio a matriz martensítica torna as granalhas de menor dureza, e com menor poder de limpeza.

## 4.6 - Composição Química

Para obtenção de granalhas de desempenho superior, é importante o controle dos teores de carbono, silício e manganês, além dos elementos residuais de fósforo e enxofre, que devem ser mantidos tão baixos quanto possíveis.

## 4.7 - Defeitos Físicos

A presença excessiva de defeitos de fundição nas partículas, tais como rechupes e vazios (ocos), reduzem drasticamente a durabilidade das granalhas, pois, nestas condições, elas partem-se ou desintegram-se facilmente, alterando bruscamente as dimensões e as formas das partículas.

Normalmente, estes defeitos estão associados à desvios de composição química e às técnicas inadequadas de desoxidação, degaseificação e granulação.

A ocorrência de trincas, geralmente decorrentes da granulação ou do tratamento térmico, também contribui para diminuir a durabilidade do abrasivo.

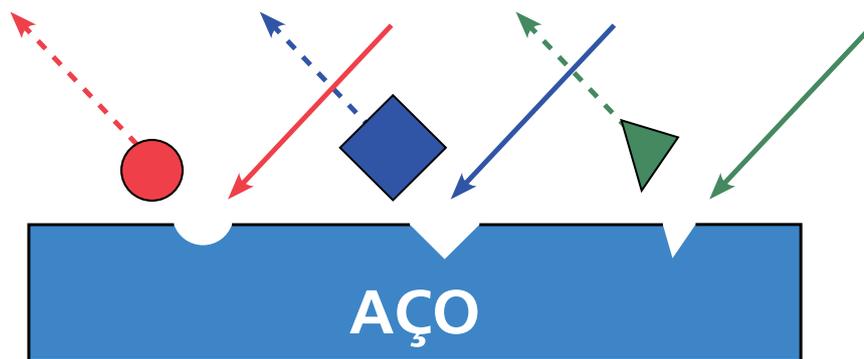
Desta forma, as normas SAE J827 e SFSA 20-66, por exemplo, estabelecem níveis aceitáveis para a ocorrência de defeitos daquelas naturezas.

## 5 - GRANALHAS DE JATEAMENTO

### 5.1 - Perfil de Rugosidade

No jateamento, o abrasivo provoca o arrancamento de material, causado pelo impacto de suas partículas, sendo que há um desgaste da superfície. No impacto, a partícula além da abrasão, provoca marcas na superfície que ficam com a sua forma.

Assim, se a partícula é redonda ou angular, pequena ou grande, a superfície terá um perfil semelhante ao perfil das suas partículas.

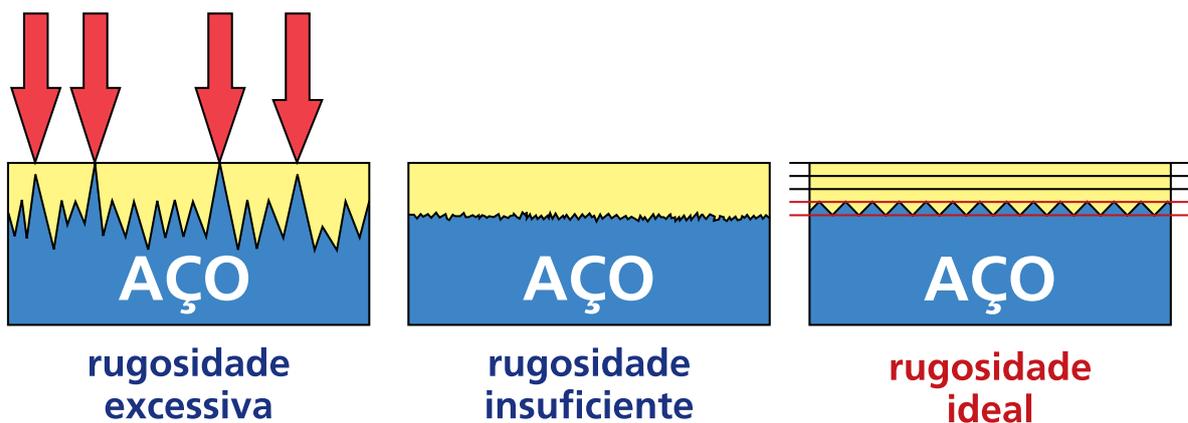


O formato das partículas do abrasivo é de suma importância para se conhecer o perfil de rugosidade que ele irá produzir, sendo que o mesmo varia com o ângulo e a velocidade das partículas, com a dureza da superfície e com o grau de limpeza.



## 5.2 - Granulometria do abrasivo

Na granulometria do abrasivo, a partícula de maior tamanho produz um perfil de rugosidade alto, e a partícula de menor tamanho produz um perfil de rugosidade baixo. Um perfil excessivamente alto é prejudicial, pois se a cobertura de camada a ser depositada (por exemplo, de tinta) não cobrir totalmente os picos, pode haver a possibilidade de alguns pontos de corrosão. Por outro lado, perfil de rugosidade muito baixo pode ser insuficiente para a ancoragem da tinta, principalmente as de alta espessura.



## 5.3 - Tipos de abrasivo

Atualmente, existe uma grande variedade de abrasivos para jateamento, tais como, cascas de nozes moídas, esferas de vidros, palha de arroz, óxido de alumínio, alumínio, aço fundido, etc., alguns dos quais indicados para aplicações muito particulares.

As granalhas de aço esféricas e angulares encontram campos de aplicações bastante diversificados, podendo ser utilizadas em operações, tais como: limpeza, fosqueamento, rebarbação, shot peening, etc.

A Tabela 3 apresenta uma classificação genérica dos níveis de acabamentos superficiais obtidos com granalhas esféricas e angulares de diferentes tamanhos. Apresenta também as aplicações mais comuns para cada grupo de tamanhos de granalhas.

**TABELA 3** - Aplicações gerais de granalhas esféricas e angulares.

ESFÉRICAS		ANGULARES		APLICAÇÕES GERAIS
Tamanho (SAE)	Rugosidade	Tamanho (SAE)	Rugosidade	
S-660	Rugosidade muito alta a alta	G-12	Rugosidade muito alta	1- Remoção de carepa espessa ou tenaz; 2- Limpeza de fundidos de aço ou ferro, de grandes dimensões.
S-550 S-460 S-390	Rugosidade alta a média	G-14 G-16 G-18	Rugosidade alta	1- Limpeza de fundidos médios de aço; 2- Remoção de camadas espessas de tinta ou ferrugem (*); 3- Limpeza de fundidos espessos de ferro cinzento, nodular, etc; 4- Jateamento de cilindro laminador 5- Remoção de carepa de tarugos, de chapas grossas e placas.
S-330 S-280 S-230	Rugosidade média a baixa	G-25	Rugosidade média	1- Limpeza de fundidos leves de aço; 2- Limpeza de fundidos médios de ferro; cinzento, maleável e nodular e de não ferrosos; 3- Remoção de carepa de peças tratadas termicamente, forjados médios, chapas grossas, finas e estruturais; 4- Preparação de tanques de água quente antes da esmaltação (*); 5- Remoção de tintas e ferrugem (*); 6- Jateamento de cilindro laminador (*).
S-170 S-110	Rugosidade baixa a muito baixa	G-40 G-50 G-80	Rugosidade baixa	1 - Limpeza de fundidos leves de aço; 2- Remoção de carepa de barras, bobinas, forjados leves, peças tratadas termicamente, tubos, chapas finas, tiras e inox; 3- Remoção de tinta e ferrugem leve (*); 4- Limpeza de peças usinadas; 5- Jateamento de cilindro laminador (*).
-	-	G-120	Rugosidade muito baixa	1 - Limpeza de peças fundidas ferrosas e não ferrosas muito pequenas; 2- Remoção de camadas finas de tinta, ferrugem e carepa (*); 3- Limpeza de peças fundidas em coquilha ou pequenas peças usinadas; 4- Limpeza e preparação de moldes para vidro e para fundição em coquilha (*); 5- Jateamento de cilindro laminador (*).

(\*) somente com granalha angular

A Tabela 4 apresenta alguns exemplos de aplicações para diversos segmentos industriais, indicando os tipos de abrasivos comumente utilizados em cada situação.

**TABELA 4** - Aplicações específicas de granalhas esféricas e angulares.

APLICAÇÕES	TIPOS DE ABRASIVOS
<b>AEROESPACIAL</b>	
Recondicionamento geral Conformação por Jateamento Shot peening	G-50, G-80 S-780 até S-460 S-390 até S-110
<b>AUTOMOTIVA</b>	
Eixos Eixo comando de válvulas Girabrequins Blocos de motores Forjados Chassis Molas (shot peening) Peças de transmissão	S-280, S-230 S-280, S-230 S-330 S-550, S-460 S-550 até S-330 S-230, S-170, G-40 S-390 até S-230 S-230 até S-110
<b>AÇOS BÁSICOS</b>	
Tarugos e placas Galvanização Jateamento de cilindros Perfis (barras, etc.) Folhas e Chapas Inoxidáveis Fios	G-12, G-14 G-14 até G-25 G-12 até G-80 S-330 até S-170, G-40, G-50 S-330 até S-170, G-40, G-50 S-110, S-70 S-170, S-110, G-40, G-50
<b>ALUMÍNIO</b>	
Anodos Barras coletoras de catodos	S-390, S-330 S-280, S-230
<b>EQUIPAMENTOS</b>	
Tanques revestidos Estruturas Peças usinadas Metalização Aços Ferramenta	G-25 até G-50 S-330 até S-230, G-18 até G-40 G-25 até G-120 G-16 até G-40 G-50, G-80
<b>FUNDIÇÕES</b>	
Ferros fundidos Fundidos não ferrosos Fundidos de aço Carepa de forjamento Carepa de tratamento térmico	S-550 até S-230, G-16 até G-25 S-230 até S-110, G-40 até G-200 S-660 até S-330 S-550 até S-280, G-12 até G-50 S-550 até S-280, G-16 até G-50
<b>TRANSPORTES</b>	
Embarcações e navios Vagões e locomotivas Caminhões	G-14 até G-25 S-230, S-170, G-14 até G-50 G-25 até G-80

Quando a operação de jateamento visa preparar a superfície para a aplicação de tinta ou de algum outro tipo de revestimento, necessita-se de um controle rigoroso da rugosidade, a fim de se garantir a aderência adequada entre o substrato e o revestimento. Nestes casos, utilizam-se granalhas angulares, ou uma mistura de granalhas angulares e esféricas.

A utilização de granalhas esféricas em conjunto com as angulares aumenta a durabilidade das granalhas (comparativamente a utilização exclusiva de angulares) e do equipamento de limpeza, produzindo, no entanto, um perfil de ancoragem mais suave e menos aderente.

Freqüentemente, observam-se perfis de ancoragem não satisfatórios, cujas causas relacionam-se, principalmente, a:

- escolha de granalhas esféricas e angulares de características incompatíveis quanto ao tamanho e a durabilidade;
- ajuste incorreto do sistema de exaustão e separação de abrasivos, produzindo um mix de operação demasiadamente grosso ou fino;
- prática inadequada de reposições de granalhas, permitindo o desbalanceamento freqüente do mix de operação e o arredondamento excessivo das granalhas angulares, alterando o perfil de ancoragem.

Apesar de haver dificuldades para se estabelecer uma relação precisa e universal entre o tipo de abrasivo e a rugosidade que ele produz, alguns pesquisadores apresentam, a título ilustrativo, as rugosidades superficiais obtidas para diferentes tipos de abrasivos, conforme pode-se observar na Tabela 5. Utilizaram-se corpos de prova de aço inoxidável de 0,25 pol., previamente retificados com rugosidade de 4RMS numa direção e 12 RMS na direção transversal, submetendo-os ao jateamento por pressão direta a seco.

Observa-se que as granalhas esféricas produzem rugosidades menores do que as angulares de dimensões equivalentes, indicando, portanto, a atuação de diferentes mecanismos de limpeza.

As granalhas esféricas simplesmente deformam e encruam a superfície da peça, produzindo ondulações relativamente suaves, enquanto as granalhas angulares cortam e penetram profundamente no metal base, produzindo superfícies com perfis angulares.

**TABELA 5** - Rugosidades superficiais produzidas através de jateamento por pressão, utilizando-se diversos tipos de abrasivos.

RUGOSIDADE (RMS) Root Mean Square	TIPO DE ABRASIVO	
	GRANALHA DE AÇO ESFÉRICA	GRANALHA DE AÇO ANGULAR
38 45 55 60		
65 70 80 85	S-70	G-200
100 105 110 115	S-110 S-170	G-120
120 130 135 140	S-230 S-280 S-330 S-390	
145 150 160 185	S-460 S-550	G-80
210 250 300 325		G-50 G-40
350 400 425		G-25 G-18 G-16

As medições de rugosidades de superfícies jateadas, através do emprego de rugosímetros convencionais, produzem, normalmente, resultados bastante diferentes dos valores reais obtidos por microscópios óticos dotados de escalas micrométricas, conforme pode-se observar na Tabela 6.

A Tabela 6 apresenta os resultados comparativos de rugosidades avaliadas através de ambas as técnicas, utilizando-se chapas de aço baixo carbono de 0,25pol., laminadas a quente.

**TABELA 6** - Rugosidades produzidas em chapa de aço laminada a quente por diferentes tipos de abrasivos, avaliadas através de equipamento convencional e de microscópio especial.

TAMANHO DO ABRASIVO	RUGOSIDADE (PERFIL) (mil)		
	MICROSCÓPIO	RUGOSÍMETRO CONVENCIONAL	DIFERENÇA
NOVA			
S-390	3.6	2.1	1.5
S-330	3.3	1.6	1.7
S-230	3.0	1.4	1.6
G-16	8.0	3.7	4.3
G-25	4.0	2.8	1.2
G-40	3.6	2.0	1.6
G-50	3.3	1.7	1.6
MIX DE OPERAÇÃO			
G-14	4.2	3.3	0.9
G-16	4.3	3.4	0.9
G-25	3.6	1.3	2.3
G-40	3.2	1.2	2.0
G-50	3.4	1.2	2.2

Obs: 1 mil = 25,4 um

## 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência de uma operação de jateamento com granalhas depende da combinação entre a prática de procedimentos operacionais, da realização de manutenções periódicas, e da seleção de abrasivos de boa qualidade, com formas e tamanhos que confirmam o grau de acabamento superficial desejado.

A qualidade de uma granalha é influenciada por diferentes variáveis como: composição química, quantidade de defeitos físicos (trincas, ocos e rechupes), microestrutura, etc.

A presença de defeitos físicos e microestruturais nas granalhas de aço fundidas está relacionada à composição química da liga, técnicas de desoxidação, desgaseificação, granulação, quebra (para as angulares) e tratamento térmico.

Para que se possam produzir granalhas fundidas de ótima qualidade é fundamental que se utilizem matérias-primas e equipamentos de excelente qualidade, aliados ao emprego de técnicas de fabricação e de controle de qualidade comprovadamente eficazes e, sobretudo, que todo o processo de fabricação mantenha-se sempre estável ao longo do tempo.

A estabilidade de uma operação de jateamento pode ser sensivelmente alterada devido à utilização de abrasivos de qualidade inferior, podendo causar sérios problemas com o grau de acabamento superficial, com a rapidez de limpeza e com os custos de produção.

Para que todo o processo de jateamento possa ser mantido dentro de padrões de qualidade, de produtividade, e de custos adequados, recomenda-se que se elabore um programa de manutenção periódica para todos os principais componentes do equipamento, e que se estabeleçam procedimentos a serem obedecidos pelos operadores do equipamento.

Além disso, sugere-se que se registrem todas as principais ocorrências operacionais (por exemplo: dia, hora, indicação do horímetro, quantidade e tipo de granalha adicionada, quantidade de peças jateadas, etc.), além das datas e tipos de peças trocadas e, se possível, de seus custos. Desta forma, será possível conhecer e controlar a produtividade e os custos operacionais de todo o processo de jateamento.

## BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

- 01 - G. Calboreanu - "Increased Wear Performance of Abrasive Particles", AFS Transactions, V. 98, 1990.
- 02 - Seraej Toedtli - "Development Work on Blast Cleaning Plants" (Entwicklungsarbeiten an Schleuderstrahlanla,-,en), Stahl und Eisen 98 (1978) N' 7, 6. April
- 03 - H. J. PLASTER, "Blast Cleaning and Allied Processes"
- 04 - Eugene Tarabek - 'Principles of Centrifugal Blast Machines", Modern Casting, Feb 1983
- 05 - SAE J444 - "Cast Shot and Grit Size Specifications for Peening and Cleanina", 1984
- 06 - SFSA 20-66 - "Standard Specification for Cast Steel Abrasives", 1980
- 07 - SAE J-445 - "Metallic Shot and Grit Mechanical Testinc,"
- 08 - SAE J-827 - "Cast Steel Shot", 1990
- 09 - Tony Gorton & Einar Borch - "The Basics of Blast Cleaning", Modern Castina, Oct. 1987
- 10 - S. Dalgety - "Abrasives for Shotblasting", FWP Journal, Sep/83.
- 11 - Robert E. Myers - "Blast Cleaning Abrasives and their Appication", Foundry M&T, Nov/77.
- 12 - J. Robertson - "Foundry Finishing Proceses", FWP Journal, Sep/84.
- 13 - R. Lindsay & J. Whittaker - "Choice and use of modern metallic abrasives for the cleaning of iron castings", Fettling and Cleaning of Iron Castings, University of Nottingham, BCIRA, Sepn4
- 14 - Jack C. Miske - "Using Airless Blast Cleaning Effectively", Foundry M&T, Nov/85
- 15 - C.A. Matthews - "Production and Quality Control of Cast Steel Shot and Grit", FWP Journal, Sep/83.
- 16 - David A. Hale - "The Function of Shot Blast Cleaning Operatioon ', Modern Castincr, V.56, Nov/69.
- 17 - Ervin Abrasive Test Machine, Bulletin N' 3489
- 18 - V. Panchanathan - "Steel Shots and its Application in Foundry", Indian Foundry Journal, V.24, N° 10, Oct/78
- 19 - H. J. Plaster - "Getting the Best from Blast Cleaning", Foundry Trade Journal, Nov/82
- 20 - E. A. Borch - "Effective Use of Shotblasting Abrasives", Modern Casting, Jul/84
- 21 - J. B. Hibbs - "Developments in Cleaning and Fettling of Castings", Foundry Trade Journal, Sep/66.



## Excelência em gralhas

A TUPY produz gralhas com a mais avançada tecnologia em fundição e oferece orientação técnica através da Engenharia de Aplicação.

**Tupy S.A.**  
Rua Albano Schmidt, 3400  
89227-901 - Joinville - SC  
SAC 0800 727 8400  
E-mail: [granalhas@tupy.com.br](mailto:granalhas@tupy.com.br)  
[www.tupy.com.br](http://www.tupy.com.br)

Granalhas

