



**MPC**  
S E R V I C E

**SISTEMA DE LIMPEZA  
ATRAVÉS DO  
JATEAMENTO COM  
GELO SECO / CO<sub>2</sub>**





## **ÍNDICE**

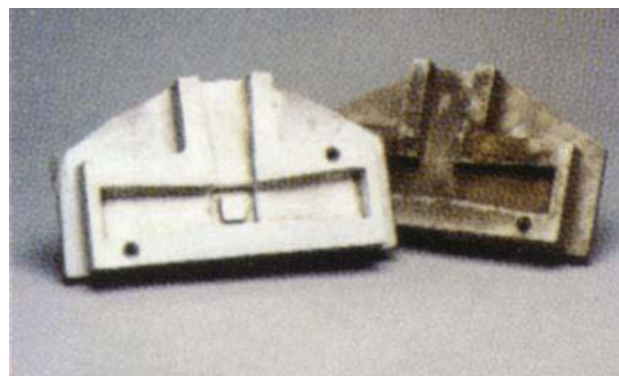
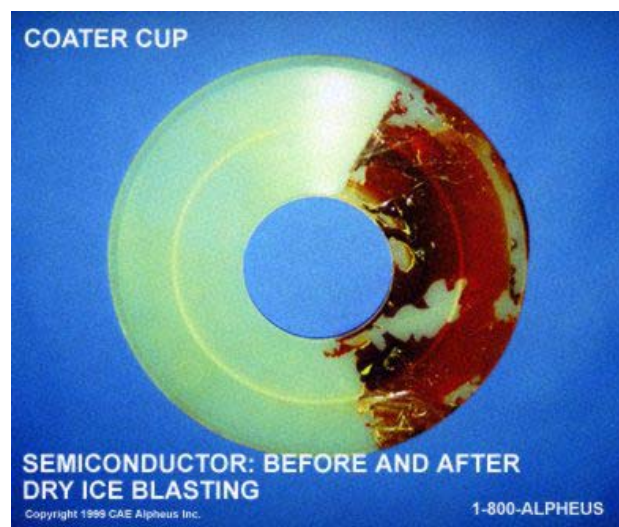
- 1. OS FUNDAMENTOS DO SISTEMA DE LIMPEZA ATRAVÉS DO JATEAMENTO COM GELO SECO**
- 2. A HISTÓRIA**
- 3. O QUE É GELO SECO?**
  - 3.1 Tabela 1. Gás carbônico (CO<sub>2</sub>) - propriedades.
- 4. MÉTODO DE PRODUÇÃO**
  - 4.1 FIGURA 1. Processo básico de palletização.
- 5. COMO FUNCIONA O JATEAMENTO COM GELO SECO?**
  - 5.1 Processo básico
  - 5.2 FIGURA 2. O choque térmico produz micro rachaduras na camada a ser removida.
  - 5.3 FIGURA 3. A expansão do gás CO<sub>2</sub> e o efeito cinético das partículas de gelo seco desprendem e removem a camada contaminante.
  - 5.4 FIGURA 4. Distância do sensor térmico à superfície da peça.
  - 5.5 FIGURA 5. Resposta térmica dos sensores de temperatura instalados em várias profundidades do copo de prova.
  - 5.6 Teorema do Stress ou Tensão Térmica
- 6. TIPOS DE MÁQUINAS DE JATEAMENTO**
- 7. TECNOLOGIA DO BICO INJETOR**
  - 7.1 Figura 6 - Tipos de bicos injetores de CO<sub>2</sub> / Gelo seco
  - 7.2 Influência do diâmetro do bico injetor na eficiência do processo
  - 7.3 Tabela 2 - Relação entre pressão e diâmetro do bico injetor
- 8. BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA DE JATEAMENTO COM CO<sub>2</sub> / GELO SECO**
  - 8.1 Redução de Custo
  - 8.2 Aumento da vida útil dos equipamentos
  - 8.3 Um processo seco
  - 8.4 Segurança Ambiental.
- 9. O FUTURO**
- 10. REFERÊNCIAS**

---

## **MPC Service**

## **1. OS FUNDAMENTOS DO SISTEMA DE LIMPEZA ATRAVÉS DO JATEAMENTO COM GELO SECO**

Atualmente o sistema de jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco vem sendo eficazmente usado em uma ampla escala de aplicações, desde na remoção de escória pesada até a limpeza de delicados circuitos semicondutores. Imagine um processo que pode ser usado com o equipamento on-line sem qualquer prejuízo ou sem requerer um desligamento da máquina. Sem a utilização de substâncias químicas tóxicas convencionais, aplicação de água sob alta pressão ou jateamento com processo abrasivo, o sistema de limpeza por jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco usa partículas de gelo seco em um fluxo de ar de alta velocidade para remover contaminações de superfícies sem os custos adicionais e inconveniência do tratamento com geração de resíduos secundários.



## **MPC Service**

## 2. A HISTÓRIA

No início dos anos 30, a produção de gás carbônico em estado sólido (CO<sub>2</sub>) se tornou possível. Durante este período, a criação de "gelo seco" era nada além de uma experiência de laboratório. Como o procedimento de produção de gelo seco se tornou facilmente disponível, várias aplicações para esta substância inovadora surgiram. Obviamente, o primeiro uso foi em refrigeração, e o gelo seco ainda é amplamente usado na indústria alimentícia para congelamento, conservando alimentos perecíveis.

No ano de 1945 foram realizados experimentos pela Marinha Norte Americana com a utilização de gelo seco como desengraxante. Em maio de 1963, Reginald Lindall recebeu uma patente para um "método de remover carne de osso" usando "jateamento" com partículas de Gás carbônico. Em novembro de 1972, Edwin Rice recebeu uma patente por seu "método para a remoção de porções não desejadas de um objeto através da pulverização de partículas de gelo seco em altas velocidades". Semelhantemente, em agosto de 1977, Calvin Fong recebeu uma patente para "Jateamento com partículas de material com capacidade de sublimação".

O trabalho e sucesso destes pioneiros, levaram à formação de várias companhias no início de 1980 que avançaram no desenvolvimento da tecnologia de jateamento com gelo seco. Este processo vem sendo largamente utilizado desde então nos Estados Unidos e Europa com aplicação inclusive na indústria aeroespacial. No Brasil a aplicação deste processo é ainda relativamente recente, principalmente para aplicação em máquinas elétricas e a um custo, até então, muito elevado. A **MPC Service**, através de um intenso trabalho de pesquisa, estudos, intercâmbio internacional e formação de parceria com a **WHITE MARTINS**, vem oferecer este processo ao mercado de forma ampla, possibilitando a sua aplicação em maior escala, a custos equivalentes a um terço dos praticados no mercado até então, na limpeza de equipamentos elétricos.



A utilização de cubos de gelo seco e máquinas específicas à sua aplicação, através de jateamento, entraram no mercado industrial no final dos anos 80. Naquele tempo as máquinas de jateamento eram fisicamente grandes, caras, e requeriam elevadas pressões de ar para sua operação (pressões maiores que 200 psi ou 13.8 bar). Com o avanço da tecnologia de jateamento por CO<sub>2</sub> / gelo seco, o tamanho e custo das máquinas diminuíram, e hoje, os mais recentes equipamentos permitem o efetivo jateamento em pressões de ar viáveis industrialmente (80 psi ou 5.5 bar).

## **MPC Service**

### 3. O QUE É GELO SECO?

O gelo seco é a forma sólida do Gás carbônico (CO<sub>2</sub>); gás incolor, insípido, inodor e encontrado naturalmente em nossa atmosfera. Entretanto, está presente em quantidades relativamente pequenas (mais ou menos 0.03% por volume) e é um dos gases mais importantes que nós conhecemos.

O CO<sub>2</sub>, em seu estado natural, serve para muitos propósitos de manutenção da vida. É um elemento chave no ciclo do carvão; é a única fonte de carvão para os carboidratos produzidos pela agricultura; estimula crescimento da planta; e ajuda a moderar a temperatura global da Terra. A respiração animal é responsável pela injeção de 28 milhões de toneladas de Gás carbônico por dia na atmosfera. Como exemplo, a indústria de CO<sub>2</sub> dos E.U.A. pode abastecer somente 25,000 toneladas por dia e 95% desta quantia é proveniente de fontes de subproduto, ou menos que 0.04% de todas outras fontes combinadas.

Com uma temperatura baixa de -78° C, o CO<sub>2</sub> sólido (gelo seco) tem uma energia térmica inerente pronta para ser utilizada. À pressão atmosférica, o gelo seco sublima imediatamente, transformando-se em vapor, sem passar por uma fase líquida. Esta propriedade sem igual, significa que o meio utilizado para o jateamento simplesmente desaparece, restando somente o contaminante original a ser eliminado. Desta forma, o jateamento de superfícies sensíveis à umidade e à abrasão tornou-se viável.

O grau de gás carbônico usado no jateamento com gelo seco é o mesmo usado na indústria alimentícia e de bebidas e foi especificamente aprovado pelo FDA, o EPA e o USDA; todos organismos internacionais de saúde. O gás carbônico é um gás não venenoso, liquefeito, barato e facilmente armazenado no local de trabalho. De importância igual, é sua natureza não condutiva e não inflamável.

O CO<sub>2</sub> é um subproduto natural de vários processos industriais como química de fermentação e refinamento de petróleo, por exemplo. O CO<sub>2</sub> emitido nos processos descritos acima é capturado e armazenado sem perdas até a sua futura utilização. Quando o CO<sub>2</sub> retorna à atmosfera, durante o processo de jateamento, nenhuma molécula nova de CO<sub>2</sub> é produzida. Ao contrário, só o subproduto de CO<sub>2</sub> original é liberado.



A Tabela 1 lista as propriedades físicas e fatores de conversão do CO<sub>2</sub> em suas diversas formas:

## **MPC Service**



**3.1 Tabela 1. Gás carbônico (CO<sub>2</sub>) - propriedades.**

<b>Peso Molecular</b>	<b>44.01</b>
<b>Densidade (Sólido)</b>	<b>97.5 lbs/ft<sup>3</sup> a -109° F / 1565 kg/m<sup>3</sup> a -78° C</b>
<b>Densidade (Líquido)</b>	<b>63.7 lbs/ft<sup>3</sup> a 0° F / 1022 kg/m<sup>3</sup> a -18° C</b>
<b>Densidade (Gasoso)</b>	<b>0.123 lbs/ft<sup>3</sup> a 32° F / 1.974 kg/m<sup>3</sup> a 0° C</b>
<b>Ponto de descongelamento</b>	<b>-69.9° F a 75.1 psia / -56.6° C a 5.2 bar absoluto (ponto triplo)</b>
<b>Ponto de ebulição</b>	<b>-109.3° F / -78.5° C (sublimado)</b>
<b>Relação de conversão Líquido-para-Gás</b>	<b>8.726 scf (gas)/lb / 0.544 m<sup>3</sup> (gas)/kg (líquido a 0°F / -18°C e 305 psia / 21 bar absoluto)</b>
<b>Relação de conversão Líquido-para-sólido</b>	<b>0.46 lb sólido / lb líquido a 0° F / 0.46 kg sólido / kg líquido a -18° 0.57 lb snow / lb liquid at -55.0° F / 0.56 kg snow / kg liquid at -48°C</b>

---

**MPC Service**

#### **4. MÉTODO DE PRODUÇÃO**

No processo de jateamento com gelo seco, existem vários métodos usados para produzir o elemento de jateamento. Uma técnica é a raspagem de grãos sólidos de CO<sub>2</sub> (gelo seco) colocados em blocos na máquina de jateamento. Este método produz geralmente grãos de gelo seco do tamanho de cristais de açúcar, os quais devem ser usados rapidamente devido à sublimação precoce (o que ocorre devido a elevada relação entre a área da superfície e o volume ocupado pelo mesmo).

Outra técnica é a fabricação de cubos, ou pallets, de gelo seco com imediata utilização dos mesmos para jateamento ou o armazenamento dos mesmos em um recipiente isolado, até que eles sejam utilizados. Estes cubos, ou pallets, de gelo seco são geralmente produzidos na ordem de 0.8" por 1.2" (2 cm por 3.0 cm) em diâmetro, e 1" por 4" (25cm por 100 cm) em comprimento.

Estes cubos, ou pallets, de gelo seco são fabricados através da transformação rápida do CO<sub>2</sub>, no seu estado líquido, em neve, por um processo de descompressão, e então comprimi-se a neve em forma sólida. A neve é diretamente compactada em forma de pellets (compressão mecânica) ou é estrudada em forma de pellets sólidos através de um extrusor hidráulico. O último processo permite uma conversão mais eficiente da fase líquida para a fase sólida e é geralmente desejável para se obter os pallets de gelo seco melhor compactados, para minimizar a evaporação do CO<sub>2</sub> o que pode afetar a qualidade de produto.

Como visto em Tabela 1, o rendimento alcançado na transformação do gelo seco em estado sólido aumenta na medida em que a sua temperatura em estado líquido diminui, assim é importante pré-resfriar o CO<sub>2</sub> líquido, via troca de calor com o vapor de CO<sub>2</sub> produzido no processo.

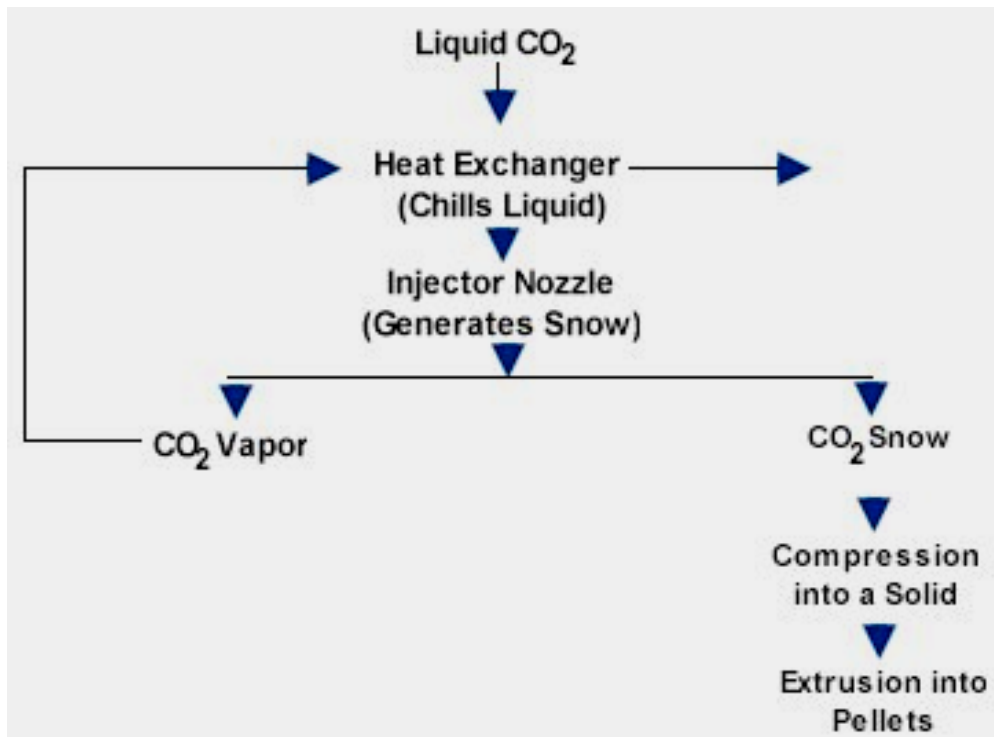
A figura 1 é um diagrama de bloco que demonstra o processo básico de palletização.



---

### **MPC Service**

#### 4.1 FIGURA 1. Processo básico de palletização.



Vários fabricantes produzem o gelo seco palletizado, o que viabiliza a sua produção no local de sua utilização, quando necessário em quantidades elevadas. As instalações exigidas para tal processo são geralmente as seguintes: um tanque de CO<sub>2</sub> líquido refrigerado, um palletizador, e linhas de CO<sub>2</sub> líquido para alcançar o equipamento.

Alguns fabricantes combinam a produção do gelo seco em pallets com a máquina de jateamento, as quais produzem o gelo seco e o aplicam através de jateamento em uma só operação. As instalações exigidas para tal arranjo são: Um compressor de ar (tipicamente de 120 psi a 250 SCFM / 8.3 bar a 7.1 m<sup>3</sup>/min ou 350 psi a 250 SCFM / 24.1 bar às 7.1 m<sup>3</sup>/min), um tanque de CO<sub>2</sub> líquido, uma máquina palletizadora / jateadora, uma mangueira de ar comprimido e linhas de CO<sub>2</sub> líquidas para alcançar o equipamento, uma mangueira de jateamento da máquina até o bico de jateamento, e o bico apropriado para a aplicação. Este *equipamento é adequado para elevados volumes com aplicações de jateamento de gelo seco contínuo, onde a redução de custos, com a produção de pallets industriais no local, justifique o investimento de capital para o sistema.*

## **MPC Service**

## 5. COMO FUNCIONA O JATEAMENTO COM GELO SECO?

### 5.1 Processo básico

O jateamento com gelo seco é semelhante ao jateamento com areia, jateamento com partículas plásticas ou o jateamento com soda cáustica, no qual o elemento jateante é acelerado por um sistema de ar comprimido (ou gás inerte) para atingir com impacto a superfície a ser limpa ou preparada. Com o jateamento através de gelo seco, o elemento jateante são as partículas de gás carbônico sólido (CO<sub>2</sub>). Um aspecto sem igual da utilização de partículas de gelo seco como um meio ou elemento jateante é o de que as partículas de gás carbônico sólido se sublimam (vaporizam) ao impacto com a superfície. A combinação impacto-dissipação de energia e o choque térmico provocado pela transferência de calor entre o gelo seco e a superfície, causa a sublimação instantânea do CO<sub>2</sub> / gelo seco sólido, em gás. O gás então se expande em aproximadamente oitocentas vezes (800x) o volume do pallet de gelo seco em alguns milissegundos, momento no qual ocorre uma eficaz "micro-explosão" no ponto de impacto. Devido à vaporização do CO<sub>2</sub> sólido, o processo de jateamento com gelo seco não gera qualquer resíduo secundário. Tudo a ser coletado é o próprio contaminante removido da superfície jateada.

Como ocorre em outros processos, a energia cinética associada ao jateamento com gelo seco é uma função da densidade de massa da partícula e da velocidade de impacto da mesma. Uma vez que as partículas de CO<sub>2</sub> / gelo seco têm uma dureza relativamente baixa, o processo conta com velocidades altas da partícula para alcançar a energia de impacto necessária. As altas velocidades das partículas são o resultado de propulsores supersônicos ou ar comprimido.

Diferentemente de outros meios jateantes, as partículas de CO<sub>2</sub> / gelo seco possuem uma temperatura muito baixa de -109° F (-78.3°C). Esta temperatura inerentemente baixa fornece ao processo de jateamento com gelo seco um mecanismo de indução termodinamicamente único sobre a superfície, o qual afeta em maior ou menor escala a camada de sujeira ou contaminante, dependendo de sua característica. Devido ao diferencial de temperatura entre as partículas de gelo seco e a superfície sendo tratada, um fenômeno conhecido como "fracking" ou choque térmico pode ocorrer. Como a temperatura do material a ser removido diminui, o mesmo se contrai, capacitando a remoção da camada pelo impacto das partículas. Veja Figuras 2 e 3.

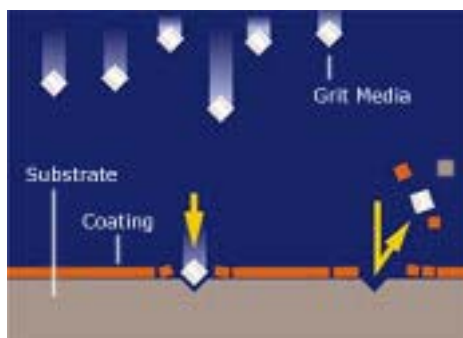


Figura 02

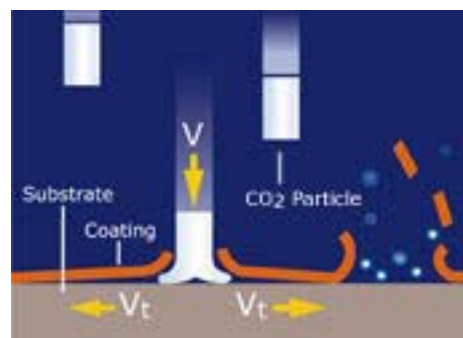
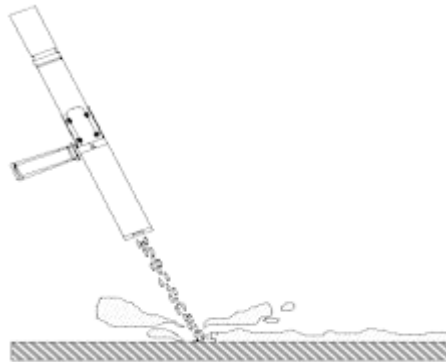


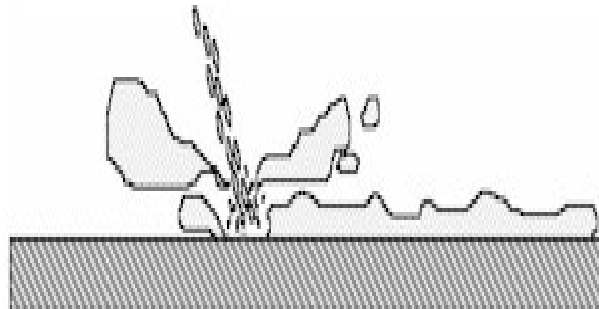
Figura 03

**MPC Service**

**5.2 FIGURA 2. O choque térmico produz micro rachaduras na camada a ser removida.**



**5.3 FIGURA 3. A expansão do gás CO<sub>2</sub> e o efeito cinético das partículas de gelo seco desprendem e removem a camada contaminante.**



Também, o gradiente ou diferencial térmico entre dois materiais dissimilares com coeficientes de expansão térmicos diferentes pode servir para quebrar o vínculo entre os dois materiais. Este choque térmico é mais evidente quando o jateamento é aplicado em uma camada contaminante não metálica depositada sobre uma superfície metálica.

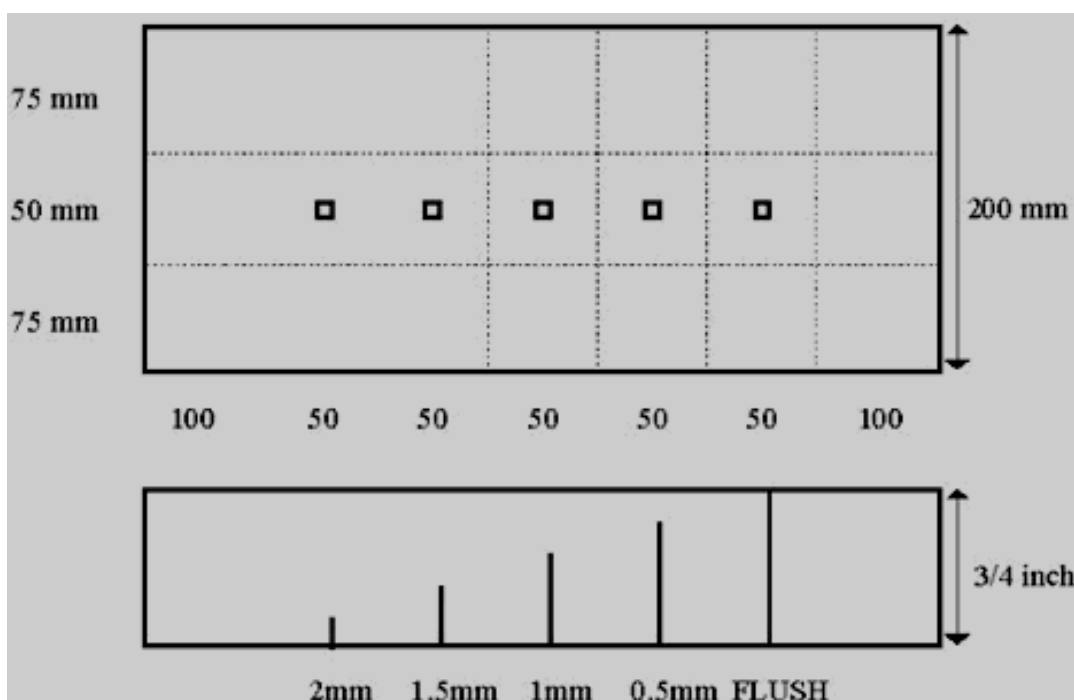
Freqüentemente as empresas, ao analisarem o processo de jateamento com gelo seco, questionam os efeitos do choque térmico sobre o material base ou superfície a ser jateada. Os estudos mostraram que a diminuição de temperatura ocorre apenas na superfície, sem transferência de calor, devido à rapidez em que o processo ocorre, e não existe nenhuma chance de ocorrência de tensão térmica ou stress no material base. Para ilustrar este princípio, uma experiência foi realizada onde sensores térmicos foram embutidos em uma peça de aço em profundidades variadas (da superfície até 2 mm de profundidade).

Veja Figura 4.

---

**MPC Service**

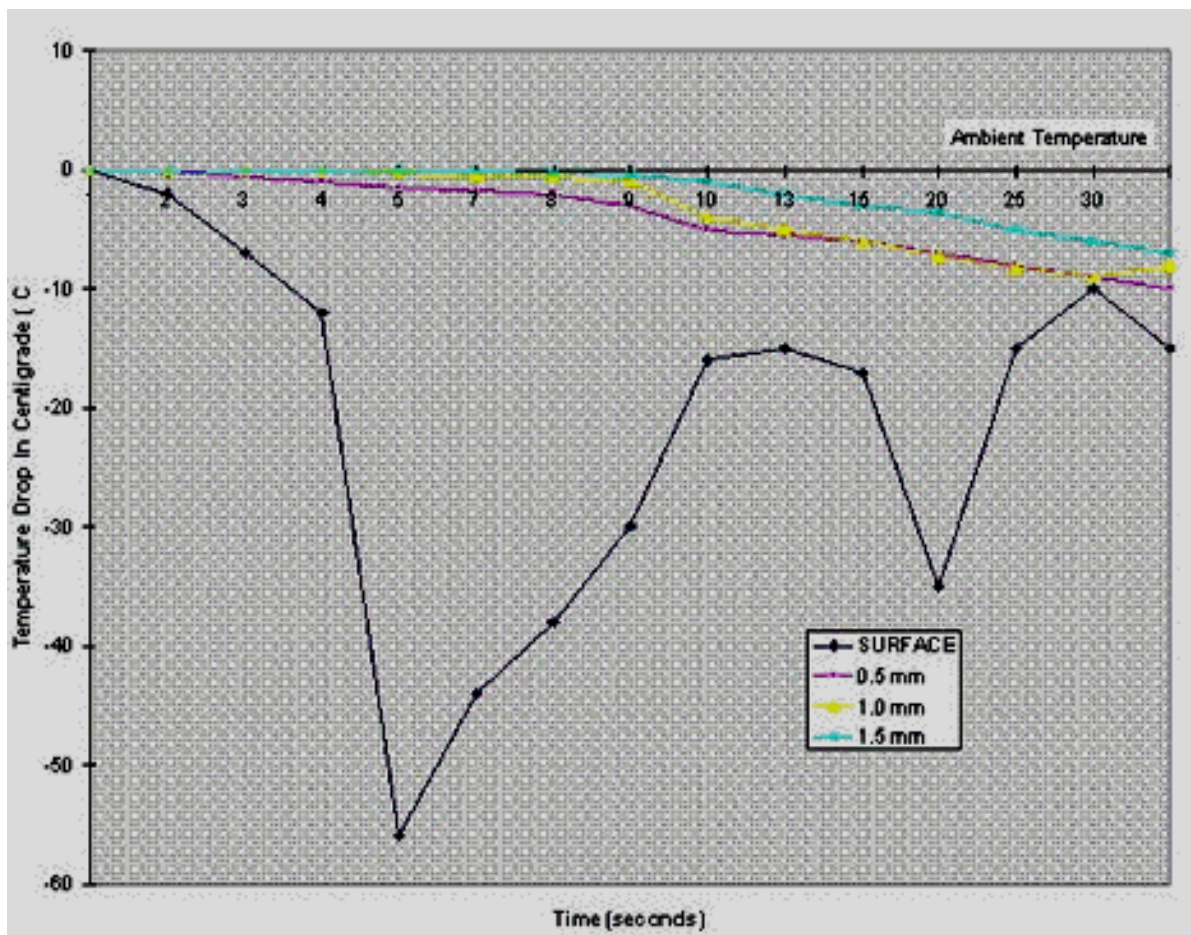
**5.4 FIGURA 4. Distância do sensor térmico à superfície da peça.**



Um jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco foi constantemente aplicado de um lado para outro do corpo de prova por 30 segundos (um período de tempo relativamente longo para este processo) e os sensores térmicos registraram as variações temperatura nas várias profundidades. Como mostrado na Figura 5, o sensor de temperatura instalado na superfície do corpo de prova mostrou a uma queda de temperatura a cada vez que o jato passava sobre este (50° C em aproximadamente 5 segundos). Em contraste, os sensores de temperatura instalados em várias profundidades no corpo de prova registraram uma variação gradual lenta da temperatura correspondente a uma queda global e equilibrada. O sensor de temperatura instalado a 2mm de profundidade registrou uma queda de apenas 10° C após 30 segundos. O gráfico da Figura 5 demonstra que o "Choque Térmico" ocorre somente na superfície onde a camada contaminante está depositada sobre o material base (Referência 1) e não tem nenhum efeito prejudicial sobre o mesmo.

**MPC Service**

5.5 FIGURA 5. Resposta térmica dos sensores de temperatura instalados em várias profundidades do copo de prova.



**MPC Service**

## 5.6 Teorema do Stress ou Tensão Térmica

Outra abordagem a ser considerada sobre a impossibilidade de ocorrência de stress ou tensão térmica sobre o material base é a análise do sistema de jateamento com gelo seco na indústria de borracha moldada. Neste caso, moldes de aço quentes operando a +300 °F (+149°C) são jateados com partículas de gelo seco a -109 °F (-78.3°C).

A diferença de temperatura entre o molde quente e o gelo seco frio não causa trincas, fato constatado por ensaios de líquido penetrante e partícula magnética. Existem duas razões para este fenômeno. Primeiro, como visto anteriormente, o gradiente de temperatura acontece na superfície. Segundo, as tensões térmicas envolvidas são  **muito menores**  que aquelas ocorridas durante o tratamento térmico normal.

A tensão térmica devido a uma diferencial de temperatura pode ser estimada usando a equação 1.0, onde  $\sigma$  é tensão (psi),  $\Delta T$  é o gradiente de temperatura (°F),  $\alpha$  o coeficiente de expansão e  $\gamma$  é a constante proporcional.

$$\sigma = \frac{(\Delta T \times E \times \alpha)}{(1 - \gamma)} \quad 1.0$$

Os valores correspondentes são:

$$\sigma = \frac{((30 \times 10^6) \times (5 \times 10^{-6}) \times \Delta T)}{(1 - 0.33)} \quad 2.0$$

$$\text{e o stress ou tensão térmica é: } \sigma = 224 \Delta T \quad 3.0$$

onde o diferencial de temperatura será 135 °F / 57.2°C (Baseado no gradiente de temperatura da Figure 5). Este gradiente de temperatura leva a uma baixa tensão de stress da ordem de 240 psi / 2085 bar. Ainda que a temperatura do molde fosse reduzida à do gelo (um extremo não realístico), o gradiente de temperatura seria -109 °F - 350 °F ou 459 °F / 237.2°C, o que resultaria em uma força de tração correspondente a 102,800 psi / 7088 bar. Este valor de tensão de stress calculado está abaixo do ponto de rendimento do aço no estado endurecido. Novamente, estas tensões térmicas seriam, de longe, menores que aquelas encontradas durante a tratamento térmico normal onde os diferenciais de temperatura excedem 500 °F / 260°C (Referência 2).

Mesmo sob elevadas velocidades de impacto aplicadas em ângulos diretos, o efeito cinético das partículas de CO<sub>2</sub> / gelo seco sólidas é mínimo quando comparado com outros meios jateantes (lixamento, areia, PMB, etc.). Isto é devido à carência relativa de dureza das partículas de gelo seco e a mudança de fase quase instantânea para o estado gasoso quando do impacto, o que provê eficazmente um coeficiente quase inexistente de restituição na equação de impacto. Devido ao fato de o jateamento com gelo seco ser considerado um processo não abrasivo e não estar comprometido pelos os efeitos térmicos discutidos anteriormente, o processo pode ser aplicado a uma grande variedade de materiais sem danos aos mesmos. Até os metais leves como bronze e alumínio podem ser jateados com gelo seco para a remoção de camadas superficiais ou contaminantes sem criar stress superficiais (erosão), corrosão, ou aspereza (Referência 3).

## **MPC Service**

## 6. TIPOS DE MÁQUINAS DE JATEAMENTO

Existem duas classes gerais de máquinas de jateamento caracterizadas por seu método de transportar o gelo seco até o bico de jateamento: o **de duas mangueiras** e o de **sistema único de mangueira**. Em qualquer um dos sistemas, a adequada seleção da mangueira de jateamento é importante por causa das temperaturas baixas envolvidas no processo e a necessidade para conservar integridade das partículas de gelo seco transportadas através da mesma.

As **máquinas de lâminas** trabalham com 30 kg de blocos de gelo seco e usa lâminas giratórias para raspar uma camada fina de gelo. Esta camada de gelo seco despedaça sob seu próprio peso, transformando-se em partículas de de granulação semelhantes a um grão de açúcar seco. Estas partículas então caem em um funil para captação. O *sistema de captação de duas mangueiras* é usado para transferir as partículas na parte inferior do funil para a superfície para ser limpa.

A grande tecnologia agregada a este processo consiste na utilização da máquina adequada a cada tipo de aplicação, uma vez que deve-se ter um controle rigoroso da granulação das partículas de gelo seco, de sua pressão e vazão de aplicação, processo este que obviamente deve ser conduzido por pessoal técnico preparado, treinado e experiente.

A **MPC Service**, em conjunto com a **WHITE MARTINS**, realizou inúmeros testes e ensaios em diversos tipos de equipamentos, inclusive motores elétricos, os quais serviram não apenas para treinamento dos profissionais envolvidos, como também para adequação das variáveis de pressão, vazão e granulação adequadas a cada tipo de equipamento e grau de contaminação.

*Como exemplo*, camadas leves como borracha, silicone, espumas e ceras, resíduoss de alimento, etc. necessitam de uma maior granulação das partículas, com densidade de fluxo ar baixa para uma melhor eficiência na remoção. Estas camadas de contaminação requerem energia térmica máxima (i.e. grandes massas de partículas de gelo seco) e espaçamento elevado entre as partículas (i.e. densidade de fluxo de ar baixa) para otimização do desempenho da limpeza. Por outro lado, camadas duras como pinturas, verniz, borras, formação de carvão, oxidação, etc. requerem partículas menores com densidade de fluxo ar e velocidades elevadas.

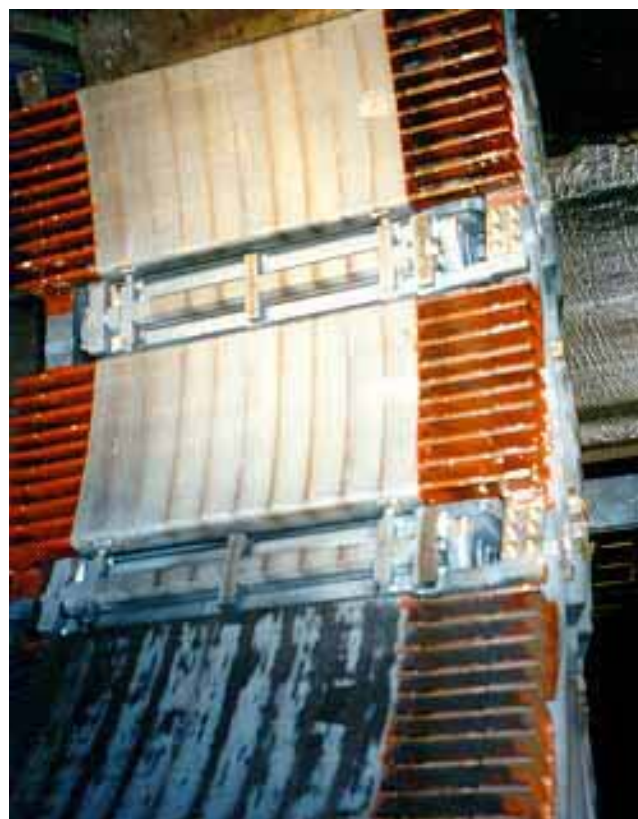


## **MPC Service**

## **7. TECNOLOGIA DO BICO INJETOR**

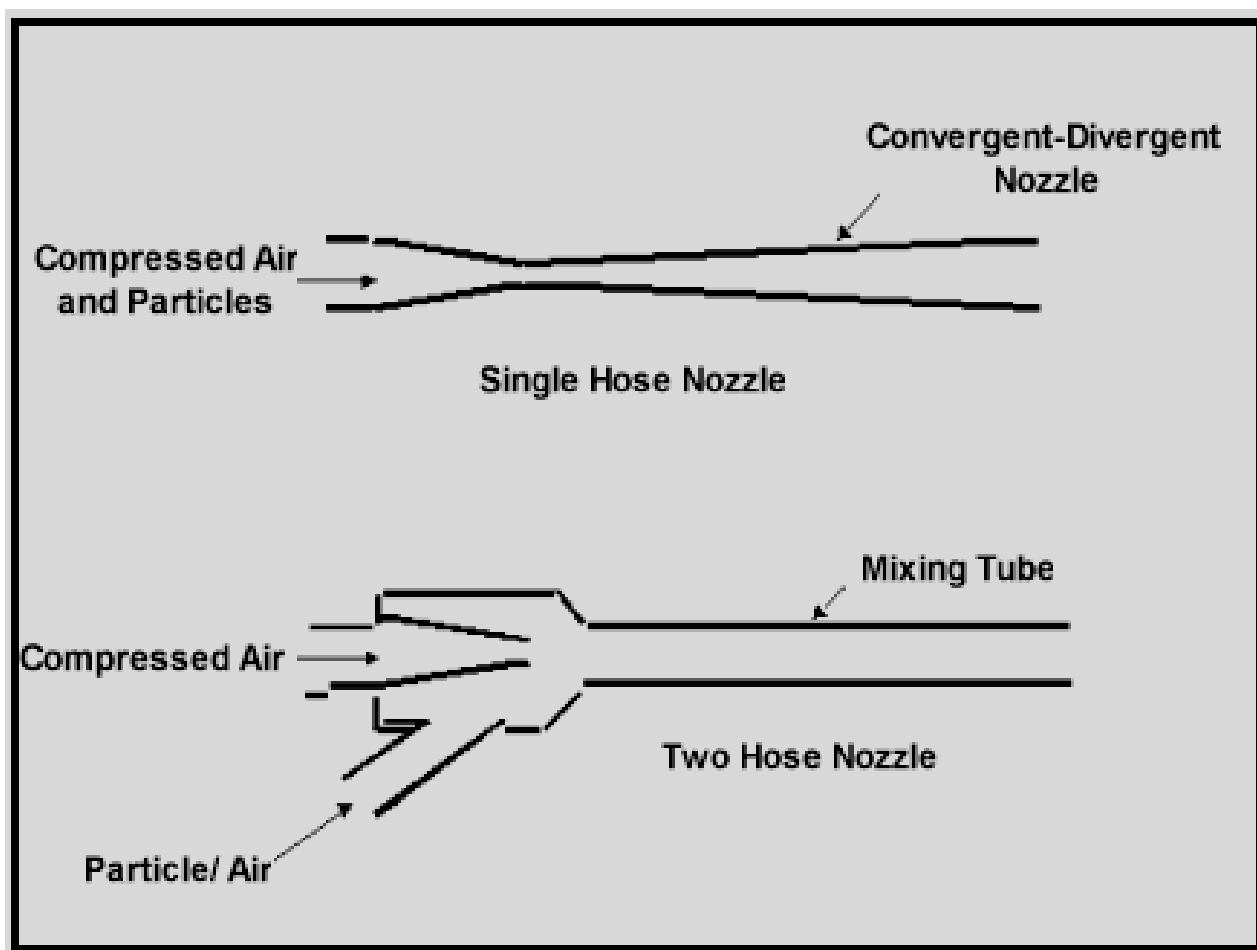
O bico injetor é o local onde as partículas de gelo seco são aceleradas a velocidades mais elevadas possível a fim de criar um fluxo efetivo de explosão do gelo seco. Processos empíricos de comparação, em situações operacionais sob as mesmas condições (i.e., vazão, pressão, temperatura, massa da partícula de CO<sub>2</sub>, ou granulação..etc.), mostra eficiência significativamente mais elevada para o utilização de bicos utilizando o processo chamado anteriormente de mangueira única. Esta diferença em capacidade é diretamente relacionada à energia fornecida ao bico injetor o qual é utilizado não apenas para acelerar o CO<sub>2</sub> / partículas de gelo seco, mas também para criar também o vácuo que puxa as partículas de gelo seco. Desta forma, mais energia é drenada para mesclar este fluxo de partículas em velocidades baixas com o fluxo de jato de ar em velocidades altas, a fim de acelerar as partículas de gelo seco através do bico injetor com duas mangueiras. Em condições normais, a energia de resultante disponível para aceleração das partículas é inerentemente mais baixa no sistema de duas mangueiras, porque uma parte da energia disponível é perdida simplesmente no processo de combinar o fluxo de CO<sub>2</sub> / partículas de gelo seco, com o fluxo ar do jato. Este processo é o ideal para aplicação em motores elétricos, pois minimizam os riscos de desprendimento de camadas do material isolante, em caso de ressecamento ou degradação térmica do mesmo.

A figura 6 mostra o esquema dos dois tipos de bicos utilizados para jateamento com gelo seco.




## **MPC Service**

**7.1 Figura 6 - Tipos de bicos injetores de CO<sub>2</sub> / Gelo seco**



**MPC Service**

	<b>SISTEMA DE LIMPEZA ATRAVÉS DO JATEAMENTO COM GELO SECO / CO<sub>2</sub></b>	<b>MPCC-ESPEC-002/02</b>
		<b>Página 17 de 20</b>

## 7.2 Influência do diâmetro do bico injetor na eficiência do processo

Uma vez que a granulação das partículas de gelo seco afeta o desempenho da limpeza, um sistema de jateamento com gelo seco deve possuir a flexibilidade de "ajuste" do tamanho correto da partícula. Isto pode ser feito de duas maneiras diferentes. Primeiro, o tamanho da partícula de gelo seco produzida pelo palletizador pode variar. Uma vez que os pallets depositados na máquina de jateamento podem variar, o tamanho das partículas lançadas sobre a superfície a ser limpa pode variar de vários modos. O diâmetro e tipo de mangueira de jateamento usada ou manterá a partícula íntegra ou as quebrarão em partículas pequenas. Também, o diâmetro do bico injetor pode ser intencionalmente reduzido para produzir um efeito parcialmente destrutivo, através de ondas de choque no interior do mesmo. Ambas as técnicas são independentemente utilizadas ou juntas para otimizar o tamanho de partícula de gelo seco, velocidade de fluxo de, e vazão adequadas a qualquer trabalho.

Quando areia ou qualquer meio semelhante é utilizado em jateamento, o tamanho do diâmetro do bico injetor é muito grande comparado com o diâmetro das partículas utilizadas. No jateamento com gelo seco, porém, o diâmetro do bico injetor só pode ser ligeiramente maior que a partícula de gelo seco sendo acelerada.

A tabela 2 é indica o tamanho aproximado do diâmetro do bico injetor adequado a quatro níveis diferentes de pressão de jateamento em um fluxo de ar constante de 5.7 m<sup>3</sup>/min, taxa de fluxo esta disponível industrialmente para operações de jateamento. Em pressões mais elevadas, o tamanho de partícula de gelo seco deve ser menor para ser adequada a diâmetros menores. O fluxo de ar no jateamento em pressão mais elevada é descrito como velocidade elevada para partículas pequenas com densidade de fluxo de elevadas. Novamente, este perfil de jateamento é melhor indicado para remoção camadas duras como pintura. O quadro mostra a necessidade de diâmetros maiores correspondendo a operações com baixas pressões. Como descrito acima, partículas maiores impactando a superfície com baixas densidades de fluxo são ideais para limpeza de camadas suaves.

---

## MPC Service




### 7.3 Tabela 2 - Relação entre pressão e diâmetro do bico injetor

<b>Pressão de Jateamento (psi)</b>	<b>Diâmetro do Bico (in)</b>
80	0.360
120	0.302
250	0.216
300	0.198

Os bicos injetores para jateamento com gelo seco tendem a ser longos como resultado dos requerimentos para acelerar as partículas a uma velocidade tão alta quanto possível. Portanto, um bico injetor muito longo com um diâmetro pequeno tende a ter uma alta relação entre a área da superfície a ser jateada e o fluxo de ar. Esta relação explica a eficiência mais alta dos bicos de baixa pressão comparado com os bicos de alta pressão.

---

## **MPC Service**

	<b>SISTEMA DE LIMPEZA ATRAVÉS DO JATEAMENTO COM GELO SECO / CO<sub>2</sub></b>	<b>MPCC-ESPEC-002/02</b>
		<b>Página 19 de 20</b>

## **8. BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA DE JATEAMENTO COM CO<sub>2</sub> / GELO SECO**

### **8.1 Redução de Custo**

A sublimação natural das partículas de gelo seco elimina o custo com a remoção, disposição ou tratamento dos resíduos secundários do jateamento. Os custos de retenção e coleta associados com água contaminada ou solventes também são eliminados.

Uma vez que os sistemas de jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco possuem a capacidade de manutenção on-line com o equipamento em produção (limpeza on-line ou em linha viva), o tempo consumindo e caros procedimentos de restart são eliminados, sem contar que o equipamento continua produzindo normalmente. Mesmo nos casos onde se faça necessário o desligamento do equipamento para desmontagem total ou parcial, a eliminação de tempo gasto com montagem de estufas e secagem permite reduções dos tempos de parada em até 50%.

### **8.2 Aumento da vida útil dos equipamentos**

Ao contrário da areia, granalha, plástico, micro esfera de vidro ou outro meio abrasivo, as partículas de gelo seco não são abrasivas, conforme já descrito anteriormente. A limpeza com gelo seco não acumulará partículas, como no jato com areia ou granalha, nas reentrâncias da peça, em estampagens, superfícies porosas, tolerâncias abertas, e não danificará rolamentos ou mancais. Além da limpeza on-line, elimina os riscos de danos durante o manejo até a área de limpeza e seu retorno.

### **8.3 Um processo seco**

Sem utilização de vapor líquido, água ou solventes, o jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco não danifica instalações elétricas, controles, ou disjuntores, etc. Além disso, qualquer formação de ferrugem possível, depois de limpeza com produtos contendo umidade é totalmente eliminada neste processo. Também, quando utilizado na Indústria alimentícia, o jateamento com gelo seco reduz o potencial para crescimento de bactérias inerentes ao jateamento com água convencional.

---

## **MPC Service**

	<b>SISTEMA DE LIMPEZA ATRAVÉS DO JATEAMENTO COM GELO SECO / CO<sub>2</sub></b>	<b>MPCC-ESPEC-002/02</b>
		<b>Página 20 de 20</b>

#### 8.4 Segurança Ambiental.

O gás carbônico é um elemento não tóxico que atende aos requisitos e diretrizes da EPA, FDA e USDA\*. Substituindo processos químicos tóxicos pelo jateamento com CO<sub>2</sub> / gelo seco, a exposição de empregados e responsabilidade trabalhista originada pelo uso de substância química perigosa e agentes de limpeza podem ser materialmente reduzidos ou eliminados completamente. Uma vez que o CO<sub>2</sub> é um gás mais pesado que o ar (gás CO<sub>2</sub> desloca oxigênio), cuidados devem ser tomado se o jateamento for executado em ambientes fechados.

#### \* Notas:

- EPA: Environmental Protection Agency,
- FDA: Food and Drug Administration,
- USDA: United States Department of Agriculture

## 9. O FUTURO

Nós não podemos prever o futuro, mas em assuntos ligados a legislação ambiental, as quais a cada dia se tornam mais exigentes, podemos afirmar que ações tomadas no sentido de reduzir os impactos provocados ao meio ambiente terão significativa influência sobre a imagem das empresas e a sua própria sobrevivência.

## 10. REFERÊNCIAS

1. The Production Engineering Research Association of Great Britain (PERA), *Cold Jet® Thermal and Surface Cleaning Characteristics*, June 1988.
2. James A. Snide, *CO<sub>2</sub> Pellet Cleaning—A Preliminary Evaluation*, Materials & Process Associates, Inc., October 12, 1992.

---

## MPC Service

R. São Judas Tadeu 144 - Distrito Industrial Benjamin Guimarães  
Sarzedo, MG - CEP: 32450.000  
Fone: (31) 3577 7766 - Fax: (31) 3577 7702  
e-mail: [mpcservice@mpcservice.com.br](mailto:mpcservice@mpcservice.com.br) WEB [www.mpcservice.com.br](http://www.mpcservice.com.br)