

## **IMPLEMENTAÇÃO DOS PROCESSOS DE AFIAÇÃO DE INSERTOS DE CBN SOB OS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE AMBIENTAL**

### **1. INTRODUÇÃO**

A crescente demanda por produtividade, precisão dimensional e sustentabilidade nos processos de usinagem tem impulsionado a adoção dos conceitos da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico. Neste contexto, a recuperação e reafiação de insertos de Nitreto Cúbico de Boro (CBN – Cubic Boron Nitride) apresentam-se como uma alternativa tecnológica e ambientalmente responsável para redução do consumo de matérias-primas críticas, diminuição da geração de resíduos industriais e aumento da eficiência operacional.

O CBN é considerado um dos materiais mais duros existentes, superado apenas pelo diamante, sendo amplamente utilizado em operações de torneamento e acabamento de materiais endurecidos. Entretanto, sua obtenção envolve processos industriais de alta complexidade tecnológica, elevado consumo energético e utilização de matérias-primas minerais de difícil extração.

Dessa forma, a implementação de processos inteligentes de afiação e recuperação de insertos torna-se uma estratégia alinhada aos princípios da economia circular e da manufatura sustentável.

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo Geral**

Implementar um sistema integrado de reafiação e recuperação de insertos de CBN utilizando tecnologias da Indústria 4.0, visando a maximização da vida útil das ferramentas, redução dos impactos ambientais e otimização dos recursos produtivos.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Reduzir o descarte prematuro de insertos.
- Diminuir a necessidade de aquisição de novos insertos de CBN.
- Minimizar o consumo de matérias-primas estratégicas.
- Implementar rastreabilidade digital completa dos insertos.
- Monitorar indicadores ambientais e produtivos em tempo real.
- Promover práticas alinhadas aos princípios ESG (Environmental, Social and Governance).

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TECNOLÓGICA**

#### **3.1 Características do Material CBN**

O nitreto cúbico de boro é produzido sinteticamente sob condições extremas de pressão e temperatura, utilizando equipamentos de alta capacidade energética.

As principais características do CBN incluem:

- Dureza superior a 4.500 HV;

- Elevada resistência ao desgaste abrasivo;
- Excelente estabilidade térmica;
- Alta resistência química em materiais ferrosos;
- Longa vida útil em aplicações de usinagem de precisão.

A fabricação do CBN demanda significativa quantidade de energia elétrica, equipamentos de alta pressão e processos industriais especializados, tornando sua reutilização altamente recomendável sob os aspectos econômico e ambiental.

#### **4. INDÚSTRIA 4.0 APLICADA AO PROCESSO DE AFIAÇÃO**

A implementação do conceito de Indústria 4.0 no processo de recuperação dos insertos contempla a integração entre sistemas físicos e digitais por meio das seguintes tecnologias:

##### **4.1 Internet das Coisas Industrial (IIoT)**

Sensores instalados nos equipamentos de afiação permitem monitorar continuamente:

- Vibração do sistema;
- Temperatura do rebolo;
- Consumo energético;
- Desgaste do abrasivo;
- Tempo efetivo de operação.

Os dados são transmitidos em tempo real para plataformas de análise e gestão.

##### **4.2 Big Data e Analytics**

Os dados coletados são armazenados e processados para identificar:

- Padrões de desgaste;
- Vida útil residual dos insertos;
- Eficiência dos ciclos de reafiação;
- Correlação entre parâmetros de afiação e desempenho operacional.

##### **4.3 Inteligência Artificial**

Modelos preditivos podem determinar:

- Momento ideal para reafiação;
- Quantidade máxima de reaproveitamentos;
- Probabilidade de falha da ferramenta;
- Ganhos de produtividade associados ao processo.

#### **4.4 Digital Twin**

A criação de gêmeos digitais dos insertos possibilita:

- Simulação do desgaste;
- Avaliação virtual de geometrias;
- Otimização dos parâmetros de afiação;
- Redução de testes físicos.

### **5. SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### **5.1 Redução da Extração de Matérias-Primas**

A produção de insertos novos requer:

- Mineração de boro;
- Produção de pós especiais;
- Processos de sinterização;
- Consumo intensivo de energia.

Cada inserto recuperado representa uma redução direta na necessidade de fabricação de novas ferramentas e, conseqüentemente, menor pressão sobre recursos naturais não renováveis.

#### **5.2 Economia Circular**

O processo de reafiação insere-se diretamente no conceito de economia circular ao promover:

- Reutilização de componentes industriais;
- Extensão da vida útil dos ativos;
- Redução da geração de resíduos sólidos;
- Menor consumo de recursos naturais.

#### **5.3 Redução da Pegada de Carbono**

Os benefícios ambientais incluem:

- Menor emissão de CO<sub>2</sub> associada à fabricação de novos insertos;
- Redução do transporte de materiais;
- Menor demanda energética na cadeia produtiva;
- Diminuição dos resíduos enviados para descarte.

### **6. GESTÃO DE RESÍDUOS**

Durante o processo de afiação são gerados resíduos compostos por:

- Partículas de CBN;

- Material metálico removido;
- Lamas de retificação;
- Fluidos de processo contaminados.

A gestão ambiental deve contemplar:

- Segregação adequada dos resíduos;
- Reciclagem dos materiais recuperáveis;
- Tratamento dos fluidos industriais;
- Destinação conforme legislação ambiental vigente.

A rastreabilidade digital desses resíduos permite auditorias ambientais mais eficazes e maior conformidade regulatória.

## 7. INDICADORES DE DESEMPENHO (KPIs)

Para monitoramento do sistema recomenda-se acompanhar:

<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>
Taxa de reaproveitamento dos insertos	%
Número médio de reafiações por inserto	ciclos
Redução de resíduos sólidos	kg/mês
Economia na aquisição de ferramentas	R\$/ano
Redução de emissões de CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> /ano
Consumo energético do processo	kWh
Disponibilidade dos equipamentos	%

## 8. BENEFÍCIOS ESPERADOS

A implementação integrada da reafiação de insertos de CBN com tecnologias da Indústria 4.0 proporciona:

- Aumento da vida útil das ferramentas entre 200% e 400%;
- Redução significativa dos custos operacionais;
- Maior controle da qualidade do processo;
- Rastreabilidade total dos ativos;
- Redução dos impactos ambientais;
- Atendimento aos requisitos ESG;
- Fortalecimento da imagem corporativa sustentável.

## 9. CONCLUSÃO

A adoção de processos inteligentes de afiação e recuperação de insertos de CBN representa uma evolução estratégica para a indústria moderna. Além dos ganhos econômicos decorrentes da maximização da vida útil das ferramentas, a iniciativa contribui diretamente para a preservação dos recursos naturais, redução das emissões de carbono e fortalecimento dos princípios de sustentabilidade industrial.

A integração dos conceitos da Indústria 4.0, por meio da utilização de sensores inteligentes, análise de dados, inteligência artificial e rastreabilidade digital, transforma a reafiação de insertos em um processo altamente eficiente, sustentável e alinhado às demandas globais de competitividade e responsabilidade ambiental.

A implementação desse modelo consolida a transição da manufatura convencional para uma manufatura inteligente, sustentável e orientada pela economia circular, contribuindo para a construção de um setor industrial mais resiliente e ambientalmente responsável.