

Cavacos de Usinagem

Fábio Ferreira da Mata¹
Rodrigo Bacarin²

RESUMO

Cavacos de usinagem são os fragmentos de material removidos durante o processo de usinagem de uma peça. A gestão eficiente desses cavacos é essencial para garantir a segurança dos operadores, melhorar a produtividade, reduzir o desperdício de material e promover práticas sustentáveis. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia eficiente para a gestão dos cavacos de usinagem, focando na implementação de práticas seguras, limpas e sustentáveis para a coleta, tratamento e/ou descarte dos cavacos gerados. A metodologia utilizada incluiu a revisão da literatura sobre o assunto, identificação dos principais desafios e necessidades, definição de critérios de gestão dos cavacos e avaliação das melhores práticas. Como resultado, foi possível propor diretrizes e estratégias para uma gestão adequada dos cavacos de usinagem, considerando a segurança dos operadores, a reciclagem de materiais e a otimização dos processos. Conclui-se que a gestão eficiente dos cavacos de usinagem é fundamental para alcançar resultados satisfatórios em termos de qualidade, produtividade, custo e sustentabilidade.

Palavras-chave: Cavacos De Usinagem. Gestão. Sustentabilidade. Segurança. Produtividade.

1 INTRODUÇÃO

Cavacos de usinagem são os fragmentos ou aparas de material que são removidos durante o processo de usinagem de uma peça. A usinagem envolve a remoção de material de uma peça bruta para obter a forma desejada, seja por meio de corte, fresagem, torneamento, retificação ou outros processos. Durante a usinagem, a ferramenta de corte entra em contato com a peça de trabalho e remove camadas finas ou grossas de material, formando os cavacos. Esses cavacos são uma combinação de material da peça bruta e da própria ferramenta de corte.

Os cavacos de usinagem podem ter diferentes formas, tamanhos e características, dependendo do material sendo usinado, do tipo de ferramenta de corte utilizada e das condições de corte. Por exemplo, os cavacos podem ser longos e espiralados, pequenos e fragmentados, ou até mesmo formar pequenas lâminas. Mas

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Anhanguera de Piracicaba

² Rodrigo Bacarin Docente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Anhanguera de Piracicaba.

de que forma, os perfis existente dos cavacos afetam na performance do ambiente de trabalho ?

A remoção eficiente dos cavacos é importante durante o processo de usinagem, pois ajuda a evitar problemas como o superaquecimento da peça, desgaste excessivo da ferramenta de corte e interferência com o próprio processo de usinagem. Além disso, a gestão adequada dos cavacos é fundamental para a segurança do operador, a limpeza do ambiente de trabalho e a reciclagem de materiais.

Em alguns casos, os cavacos de usinagem podem ser reciclados e reutilizados. Por exemplo, em processos de usinagem de metais ferrosos, os cavacos podem ser fundidos e transformados em lingotes para a produção de novas peças. Em outros casos, os cavacos podem ser coletados e descartados corretamente de acordo com as regulamentações ambientais. É importante observar que a geração de cavacos é uma característica inerente ao processo de usinagem e pode variar amplamente dependendo das especificações da peça, das condições de corte e dos parâmetros utilizados na usinagem.

A justificativa mostra que a gestão eficiente dos cavacos de usinagem é essencial para garantir a segurança dos operadores, melhorar a produtividade, reduzir o desperdício de material e promover práticas sustentáveis no ambiente de trabalho. Uma abordagem adequada para lidar com os cavacos pode trazer benefícios significativos, como minimizar os riscos ocupacionais, facilitar a reciclagem de materiais, manter a qualidade das peças usinadas e otimizar os custos de produção.

O objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia eficiente para a gestão dos cavacos de usinagem, visando resolver os problemas mencionados anteriormente. O foco foi na implementação de práticas seguras, limpas e sustentáveis para a coleta, tratamento e/ou descarte dos cavacos gerados durante o processo de usinagem.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A revisão da literatura sobre o tema dos cavacos em usinagem foi conduzida seguindo uma metodologia estruturada. Primeiramente, foram identificados os bancos de dados acadêmicos e científicos mais relevantes para a área de usinagem, incluindo

IEEE Xplore, Scopus, Web of Science e outras bases de dados específicas da engenharia e usinagem.

Com base nesses bancos de dados, foi elaborada uma estratégia de busca, utilizando termos relacionados ao tema, como "cavaco em usinagem", "fragmentação do cavaco" e "geração de cavacos". Os operadores booleanos (*AND*, *OR*) foram utilizados para combinar os termos de busca de forma a otimizar os resultados. Para delimitar o escopo temporal da revisão, definiu-se um período de abrangência, compreendendo os estudos publicados entre os anos de 2013 e 2023. Essa escolha levou em consideração os avanços recentes na área e permitiu abranger uma gama significativa de publicações relevantes.

Os critérios de inclusão e exclusão foram estabelecidos para garantir a seleção dos estudos mais pertinentes. No que diz respeito ao idioma, foram incluídos apenas estudos escritos em inglês e português, devido à disponibilidade de recursos de tradução e à relevância geográfica. Quanto ao tipo de estudo, foram selecionados estudos empíricos, revisões sistemáticas, meta-análises e artigos de conferências que apresentavam resultados relevantes sobre o tema dos cavacos em usinagem.

A relevância temática foi um critério fundamental para a inclusão dos estudos. Foram selecionadas publicações que abordavam especificamente o tema dos cavacos em usinagem, incluindo sua formação, características, influência nos processos de usinagem, estratégias de gestão e outros aspectos relacionados. Além disso, foi considerada a qualidade metodológica dos estudos. Foram incluídas publicações que passaram por revisão por pares e que apresentaram uma metodologia robusta, garantindo a confiabilidade dos resultados.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, os estudos selecionados passaram por uma triagem e seleção rigorosa. Inicialmente, foram analisados os títulos e resumos dos artigos, identificando aqueles que possuíam potencial relevância. Em seguida, os artigos selecionados foram lidos na íntegra para determinar sua inclusão final na revisão da literatura. Os estudos selecionados foram submetidos a uma análise e síntese detalhada. Durante essa etapa, foram identificadas as principais descobertas, metodologias utilizadas e lacunas de conhecimento nos estudos. As informações relevantes foram organizadas de forma clara e objetiva para a apresentação dos resultados da revisão.

Em resumo, a metodologia utilizada para a revisão da literatura sobre cavaco em usinagem envolveu a identificação de bancos de dados, a elaboração de

estratégias de busca, a definição de anos e critérios de inclusão e exclusão, a triagem e seleção dos estudos, bem como a análise e síntese dos resultados obtidos. Essa abordagem sistemática permitiu obter uma visão abrangente e atualizada sobre o tema dos cavacos em usinagem.

2.1 Resultados e Discussão

Os processos de fabricação permitem-se ser separados em dois tipos, diferenciados pela formação ou não de cavaco. Os que não formam cavaco podem ser classificados em fundição, soldagem metalurgia do pó e outros tipos de conformação. Já aqueles que geram cavacos pelo desbaste do material, são considerados como processos de usinagem, sendo esse o foco do trabalho (BARBOSA, 2014).

A usinagem consiste num processo mecânico de fabricação de materiais por meio de movimentação entre uma ferramenta de corte e a peça a ser desbastada. Essa movimentação ocorre, na maioria das vezes, com a movimentação da ferramenta enquanto a peça está fixa em algum ponto do maquinário (BARBOSA, 2015).

Os processos de usinagem possuem uma subdivisão caracterizada em processos convencionais, onde há a interação por meio de desenvolvimento de energia mecânica, pelo contato físico dos materiais, e não convencionais, que utilizam fontes de energias diferenciadas, sem a geração de marcas na peça, além de uma diferenciação da taxa de redução do material, como por exemplo os cortes a laser, onde há a retirada de material sem o contato mecânico de dois materiais com características de resistência diferentes (BORBA, 2013).

Ainda dentro dessa divisão dentro dos processos convencionais há um subgrupo definido pelo uso de ferramentas de geometria não definida, como é o caso dos processos de lapidação e retificação, e processos de geometria definida, como o fresamento, torneamento e furação, que são os mais conhecidos e comuns, sendo o principal foco do projeto de estudo (CAMARGO, 2016).

O processo de torneamento, de acordo com Francaro (2015), consiste em um processo mecânico que visa a obtenção de peças em superfícies de revolução, com a aplicação de ferramentas monocortantes, que podem atuar sozinhas ou simultaneamente. O processo de desbaste em torno é caracterizado conforme abaixo:

O processo é caracterizado pela combinação de movimentos realizados tanto pela ferramenta (avanço) quanto pela rotação da peça. Este primeiro movimento pode ocorrer na direção longitudinal da peça, acompanhando seu eixo, gerando redução de comprimento, ou então no sentido ao meio da peça, reduzindo o diâmetro da mesma. Em determinadas ocasiões, pode haver a geração de peças cônicas por conta da combinação desses dois avanços simultaneamente (MARTINS, 2014).

Existem duas principais nomenclaturas para os sistemas de torneamento, ao qual são definidos pela sua finalidade. A primeira é o torneamento de desbaste, ao qual a movimentação ocorre primeiro, buscando a obtenção da peça próximo às dimensões finais da mesma, cuja condição é de

extrema importância tal qual a geração do cavaco, a potência do motor e a vida da ferramenta, delimitados para a execução de acordo com o tipo de material e suas características (SOUZA, 2016).

O segundo e último é o torneamento de acabamento, que ocorre imediatamente após o de desbaste, visando reduzir a peça em seus detalhes para que chegue até a medida nominal da peça, dando o acabamento superficial à peça. A condição de execução deste processo é leve e deve acontecer com detalhes sutis para que não haja redução exagerada e consequentemente a perda dessa peça, aplicando então profundidades reduzidas e avanços sutis em busca de enquadramento da peça em suas especificações (MARTINS, 2014).

Com relação às faixas de tolerância, para que haja a obtenção dessas em *ranges* reduzidos e com acabamento satisfatório, é preciso que sejam realizadas mais etapas no desbaste e a combinação de ao menos um ou mais etapas de acabamento, podendo em alguns casos utilizar-se de outra ferramenta para essa execução, ainda que o mais correto seja o emprego de uma mesma para ambas as etapas (CAMARGO, 2016).

De acordo com a descrição de Francaro (2015), a porção de material retirado da peça no momento do desbaste e o tempo de vida útil das ferramentas empregadas no processo são influenciados, principalmente, por parâmetros como a velocidade de corte, o avanço da ferramenta e a profundidade do corte, tal qual o aumento ou diminuição destes pode representar diferenças consideráveis. Se aumentada, aumenta a porção de material reduzido, porém desgasta a ferramenta em demasia e reduz a vida útil da mesma. Cada mudança de parâmetro surte efeito igual sob a taxa de remoção, porém age diferentemente em consideração à vida útil da ferramenta.

Quando há o emprego de processos com movimentos rotacionais, a velocidade de corte é calculada por meio da equação, onde V_c é a velocidade de corte, D o diâmetro de início da peça e n o número de rotações por minuto (MARTINS, 2014).

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

A velocidade empregada no torneamento (velocidade de corte) é a principal variável de influência na determinação da vida útil da ferramenta, muito mais que o avanço e a profundidade de corte. A implementação de velocidades muito altas pode gerar problemas relacionados à vibração excessiva, assim como problema na vida útil dos componentes do maquinário, afetando a segurança da operação e o sucesso do processo. Ainda que haja a necessidade de produção em grandes quantidades em sistemas de linha de produção, deve-se haver um estudo e considerações com critérios minuciosos com relação às condições e formas para aumento da produção por meio do aumento da velocidade de corte e no custo empregado por essa decisão no custo final da operação (MARTINS, 2014).

Em determinados materiais, como metais-duros com revestimentos, cerâmicas, diamantados e nitretos cúbicos de boro, é possível implementar altas velocidades sem a preocupação com desgaste excessivo da ferramenta e excesso de vibração no processo por conta da condição de dureza fornecida por esses materiais (CAMARGO, 2016).

A profundidade de corte é o parâmetro de menor influência sob a vida útil da ferramenta, pois a mesma é limitada pela quantidade de material que será removido, combinados à potência do maquinário empregado, a rigidez do sistema, as características da ferramenta, a qualidade da superfície de contato e a precisão necessária para a execução do referido avanço. Apesar disso, as variações no avanço têm caracterização importante na determinação da vida útil, ao passo que a redução desse avanço fornece ganhos significativos na qualidade da peça, cuja velocidade é determinada pela equação abaixo, onde V_f é a velocidade de avanço, f o percurso do avanço em cada rotação, e n o número de rotações por minuto (MARTINS, 2014).

$$V_f = f \times n \text{ [mm/min]}$$

Os cavacos são caracterizados pelo material excedente retirado da peça por meio do desbaste. Esse material tem sua formação influenciada por diversos parâmetros dentro do processo de torneamento, como o ângulo de saída e o quebra-cavaco, determinantes a forma de geração desse cavaco. O emprego do quebra-cavaco tem sido empregado com cada vez mais frequência, uma vez que as transformações dos maquinários e ferramentas de corte tem potencializado a geração de cavacos em forma de fita ou helicoidais, caracterizadas pelo emprego e uma velocidade de corte mais elevada, gerando assim formas de quebra desse cavaco de forma mecânica, por meio da flexão empregada por esses dispositivos CAMARGO, 2016).

A geração de cavacos helicoidais ou em fita não são bem-vistos no processo de torneamento, pois possuem uma densidade baixa e ocupam espaço excessivo, gerando problemas ao manuseio, reaproveitamento e descarte dos mesmos. Além dessas condições, ainda apresentam a possibilidade de enrolamento na peça ferramenta ou componente do maquinário, representando risco significativo ao operador pois apresenta arestas afiadas e uma alta temperatura, além de poderem causar danos à peça torneada, uma vez que podem impedir o fluído de corte de percorrer todos os espaços necessários à manobra de corte, interferindo o seu fluxo na peça pela sua presença (BORBA, 2013).

O tipo de cavaco formado durante a usinagem depende de vários fatores, incluindo as características da ferramenta e do material. Existem três tipos principais de cavacos: cavacos de ruptura, cavacos contínuos e cavacos por cisalhamento. Os cavacos de ruptura são formados de maneira segmentada, ocorrendo em materiais quebradiços, como ferro fundido e latão, com velocidade de corte lenta e ângulo de inclinação da ferramenta pequeno. Esses cavacos se formam em materiais dúcteis quando há um alto atrito entre a ferramenta e a peça de trabalho. No entanto, os cavacos de ruptura em materiais dúcteis resultam em um acabamento superficial de baixa qualidade quando a máquina é operada em velocidade lenta (MARTINS, 2014).

As condições favoráveis para a formação de cavacos de ruptura incluem: a peça de trabalho ser frágil, velocidade de corte lenta, ângulo da ferramenta reduzido e grande profundidade de corte. Por outro lado, os cavacos contínuos formam-se em um segmento contínuo, ocorrendo em materiais dúcteis, como alumínio e cobre, com alta velocidade de corte. Durante esse processo, o atrito

entre a ferramenta e o material é mínimo. Esses cavacos têm espessura uniforme ao longo de seu comprimento e geralmente resultam em um bom acabamento superficial (CAMARGO, 2016).

Os cavacos por cisalhamento são semelhantes aos cavacos contínuos, mas apresentam uma aresta construída no rosto da ferramenta. Eles ocorrem durante a usinagem de metais dúcteis com alta fricção entre a ferramenta e a peça de trabalho. Os cavacos por cisalhamento não possuem a mesma suavidade dos cavacos contínuos e são formados devido à alta temperatura gerada pela alta força de atrito entre a ferramenta e a peça de trabalho (BORBA, 2013).

A compreensão dos diferentes tipos de cavacos é essencial para os operadores de máquinas de usinagem, pois permite prever as condições de operação. Essas informações podem auxiliar na seleção adequada das ferramentas e na definição dos parâmetros de corte para obter os resultados desejados. Portanto, é importante considerar o tipo de material a ser usinado, a velocidade de corte, o ângulo da ferramenta e outros fatores relevantes ao escolher a estratégia de usinagem mais adequada e obter cavacos de qualidade, garantindo assim um processo de usinagem eficiente e um bom acabamento superficial (MARTINS, 2014).

3 CONCLUSÃO

A gestão adequada do controle de cavaco é crucial na otimização dos processos de fabricação, com o objetivo de alcançar melhorias em qualidade, produtividade, custo e impacto ambiental. A ferramenta preditiva de controle de cavaco desempenha um papel fundamental nesse contexto.

As propriedades químicas dos materiais usinados desempenham um papel importante na determinação da solubilidade mútua e influenciam o comportamento do atrito. Portanto, é necessário entender em que condições o cavaco contínuo se torna descontínuo, a fim de controlar o tipo de cavaco sem a necessidade de adicionar elementos especiais, o que contribui para a redução dos custos do processo.

Os fluidos de corte são amplamente utilizados para reduzir o atrito entre a ferramenta de corte e o cavaco, além de resfriar a peça usinada, a máquina-ferramenta e a própria ferramenta. Esses fluidos de corte melhoram a produtividade, proporcionam um melhor acabamento superficial, contribuem para a eficiência do processo e auxiliam na remoção dos cavacos gerados. O controle de cavaco visa reduzir os riscos de segurança causados por estilhaços e evitar interferências com as ferramentas de corte.

Em resumo, os cavacos geralmente se quebram de três maneiras: automaticamente, contra a ferramenta ou contra a peça de trabalho. Cavacos de

tamanho adequado não representam uma ameaça para a máquina e não causam danos à peça, ao porta-ferramentas ou à ferramenta de corte.

O controle de cavaco é especialmente relevante em aplicações de torneamento, como semi-acabamento, acabamento e profundidade de corte variável, que são amplamente encontradas na indústria. Dessa forma, é evidente que o controle eficiente de cavaco desempenha um papel essencial na indústria, contribuindo para melhorias significativas em termos de qualidade, produtividade, custo e impacto ambiental.

Como sugestões para trabalhos futuros, existem várias áreas de pesquisa relacionadas ao controle de cavacos em usinagem e suas implicações ambientais. Uma delas é a sustentabilidade na usinagem, que envolve explorar as questões de reaproveitamento dos cavacos produzidos. Seria interessante investigar métodos eficazes de reciclagem e reutilização dos cavacos, com o objetivo de reduzir o desperdício de material e promover práticas mais sustentáveis.

Outra área de pesquisa relevante é a limpeza de cavacos metálicos contaminados. Seria importante buscar técnicas eficientes e ambientalmente responsáveis para a remoção de contaminantes, como óleos de corte e resíduos químicos. Além disso, é fundamental considerar a viabilidade técnica e econômica desses métodos.

Investigar os impactos ambientais da produção de cavacos também é uma sugestão de pesquisa. Isso envolveria analisar o consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e as emissões de gases poluentes associados aos processos de usinagem. O objetivo seria propor estratégias de mitigação e redução do impacto ambiental, contribuindo para práticas mais sustentáveis na indústria.

A influência dos diferentes tipos de materiais na formação de cavacos é outra área interessante para pesquisa. Seria importante estudar como as propriedades dos materiais usinados, como dureza, ductilidade e composição química, afetam a formação e o comportamento dos cavacos durante os processos de usinagem. Isso poderia fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de controle de cavacos.

Por fim, a influência dos fluidos de corte na formação de cavacos é um tópico de pesquisa relevante. Investigar como diferentes tipos de fluidos de corte, como lubrificantes e refrigerantes, afetam a fragmentação, o atrito e o resfriamento dos cavacos pode levar ao aprimoramento do desempenho dos processos de usinagem,

buscando maior eficiência e redução de problemas relacionados aos cavacos. Essas sugestões de pesquisa abordam diferentes aspectos do controle de cavacos em usinagem e suas implicações ambientais. Cabe aos pesquisadores explorar essas áreas e contribuir para o avanço do conhecimento, visando práticas mais sustentáveis e eficientes na indústria de usinagem.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, P. A. **Estudo do comportamento mecânico da usinagem de aços inoxidáveis**. 2014. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, 2014.

BARBOSA, R. da S. **Avaliação dos esforços de corte no fresamento frontal da liga de alumínio-silício (A356) quando mantido constante a produção de peças**. São João Del Rei/MG, 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei. Departamento de Engenharia Mecânica. São João Del Rei – MG, 2015.

BORBA, Rodrigo Barros de. **Estudo da influência das afiações em brocas escalonadas de canal reto na furação da liga de alumínio SAE 306**. São João Del Rei/MG, 2013. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei. Departamento de Engenharia Mecânica. São João Del Rei – MG, 2013.

CAMARGO, Jonathan Felipe. **Análise da formação de cavacos no torneamento de aços inoxidáveis com emprego de um sistema de interrupção súbita de corte (QSD)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

FRANCARO, J. **Formação De Cavaco. Teoria e prática de usinagem**. Aula 3. Universidade tecnológica federal do Paraná. Campus Londrina, 2015.

MARTINS, J. **Mecanismo de formação e controle do cavaco**. Notas de aula. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, 2014.

SOUZA, F. L. C. de et al. **Avaliação do processo de formação de cavaco no torneamento do aço ABNT 1045**. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica. Engenharia Mecânica - Campus Ilha Solteira, 2016.