



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

01 a 03
de dezembro 2021

Seleção de parâmetros de fresamento de faceamento de acabamento com auxílio de método de decisão por multicritérios

Lucas Ganzer Gobbi

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Ricardo Vinícius Bubna Biscaia

Departamento de Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil

Aldo Braghini Junior

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Resumo: O fresamento é o segundo processo de fabricação mais utilizado na indústria metalomecânica. A seleção dos melhores parâmetros de usinagem e do melhor inserto para etapas de fresamento de faceamento, permite que empresas reduzam custos, aumentem a produtividade e aumentem a qualidade das peças produzidas. As combinações de parâmetros e insertos não conseguem atingir um estado de otimização em critérios conflitantes, como é o caso da redução de custos e aumento da qualidade da peça produzida. O objetivo deste artigo é propor um método de auxílio à tomada de decisão que permita indicar qual a melhor combinação de parâmetros e inserto para o fresamento de faceamento de aço 1045. Para isso foram realizados experimentos, utilizando dois tipos de insertos e dois avanços por aresta diferentes. Foram medidos a Rugosidade média e o tempo de vida útil dos insertos em quatro condições diferentes. Foi aplicado o método *Direct Rating* para o ponderamento de critérios e o método TOPSIS para ordenação das alternativas. Os critérios analisados consideraram aspectos relacionados à qualidade, produtividade, flexibilidade e custos envolvidos no fresamento de faceamento. Observou-se que a alternativa de fresamento com inserto redondo e menor avanço por aresta foi a melhor ranqueada. Entre as vantagens desta alternativa estão a menor rugosidade e o maior tempo de vida do inserto. O resultado expressou de forma coerente a melhor alternativa de acordo com os objetivos dos decisores. Por fim, verifica-se que o método avaliou de forma ampla os aspectos técnicos e econômicos do processo de fresamento de faceamento.

Palavras-chave: Fresamento de faceamento, Seleção de inserto, Seleção de Parâmetros, *Direct Rating*, TOPSIS.

Selection of finish face milling parameters with the aid of multi-criteria decision method

Abstract: Milling is the second most used manufacturing process in the metalworking industry. The selection of the best machining parameters and the best insert for face milling steps allows companies to reduce costs, increase productivity and increase the quality of the parts produced. The combinations of parameters and inserts cannot reach an optimization state in conflicting criteria, as is the case of cost reduction and increase in the quality of the produced part. The objective of this article is to propose a method to aid decision making that allows to indicate the best combination of parameters and insert for the face milling of 1045 steel. For this, experiments were carried out, using two types of inserts and two feeds per tooth many different. The average roughness and tool life of the inserts under four different conditions were measured. The Direct Rating method was applied for the weighting of criteria and the TOPSIS method for the ranking of alternatives. The criteria analyzed considered aspects related to quality, productivity, flexibility and costs involved in face milling. It was observed that the alternative of milling with round insert and lower feed per edge was the best ranked. Among the advantages of this alternative are lower roughness and longer insert life. The result coherently expressed the best alternative according to the decision-makers' objectives. Finally, it appears that the method broadly evaluated the technical and economic aspects of the face milling process.

Keywords: Face Milling, Insert Selection, Parameter Selection, Direct Rating, TOPSIS.

1. Introdução

Visando a maximização da competitividade industrial, é importante o monitoramento e seleção otimizada de todas as variáveis de entrada e saída dos processos de produção. Parâmetros como qualidade da peça fabricada, custos envolvidos nos processos, produtividade e vida útil das ferramentas são usualmente critérios relevantes para a indústria metal-mecânica.

Para Machado (2015) as condições de corte ideais em processos de usinagem, são aquelas capazes de produzir peças dentro de especificações dimensionais e geométricas, em menor tempo e com o melhor acabamento, ao menor custo possível. Porém, sabe-se que nos processos de fabricação convencionais, tais necessidades dificilmente serão atendidas completamente, ou seja, estes critérios para as condições de corte ideais são conflitantes. Exemplificando, aquele processo de fabricação que utiliza maquinário especializado, controlado por comandos numéricos, tem como resultado uma alta produtividade e excelentes resultados de qualidade do produto usinado, porém os custos para aquisição e operação destas máquinas são maiores, se comparados à máquinas de usinagem tradicionais.

Os métodos multicritério são aplicados em situações que se analisam aspectos econômicos de processos de produção, mas de forma mais ampla em relação às variáveis industriais, considerando como exemplos a seleção de materiais, seleção de fornecedores, seleção de cenários de melhorias em ambientes produtivos e seleção de processos de fabricação.

Çalışkan et al. (2013) desenvolveram um método multicritério para ordenação de alternativas de materiais, considerando além das propriedades mecânicas, os custos de aquisição destes materiais, para fabricação de porta-ferramentas utilizados no fresamento de materiais com elevada dureza.

Araújo (2019) desenvolveu um método multicritério para selecionar fornecedores de materiais diretos, materiais indiretos e serviços da indústria metal-mecânica. Já Gonçalves (2015) aplicou o método SWOT para agrupar fatores relevantes em um cenário de melhoria de processos, e o método ANP para priorizar alternativas para melhorias em ambientes produtivos. Polachini (2019) aplicou um método de decisão fuzzy-TOPSIS para seleção de

um processo de fabricação de um componente mecânico sujeito a um ambiente frigorífico e suscetível a agentes químicos.

O desenvolvimento de metodologias que auxiliem na seleção da melhor ferramenta e da melhor combinação de parâmetros de entrada em um processo de usinagem, pode garantir ao produtor/fabricante um processo de fabricação ajustado aos interesses competitivos da empresa. Os métodos de auxílio à tomada de decisão vêm sendo amplamente utilizados por pesquisadores, visando a otimização na seleção de parâmetros de entrada nos processos de fabricação.

Peng, Du e Warren Liao, (2017) desenvolveram um banco de dados com parâmetros de corte de usinagem, e utilizam o método de auxílio à tomada de decisão TOPSIS para escolher a melhor alternativa para os parâmetros de corte, de acordo com os interesses do decisor.

Majumder e Saha (2018) utilizaram a rugosidade média (R_a) da peça usinada, a energia consumida, a frequência de vibração da ferramenta, as forças de usinagem e a velocidade de corte, para selecionar, por meio de um método multicritério, os parâmetros de entrada (rotação, profundidade de corte e avanço) no torneamento de aço ASTM A588.

Na mesma linha de pesquisa, Lukic et al. (2020) utilizaram métodos multicritério para otimização dos parâmetros de fresamento de alta velocidade, de acordo com os parâmetros de saída: tolerâncias geométricas de peças fabricadas, rugosidade, e tempo de usinagem.

Naresh Babu, Anandan e Dinesh Babu (2021) ordenaram alternativas, por meio de um método multicritério (AHP e TOPSIS), de processos de torneamento que variam a utilização de diferentes fluidos de corte, velocidades de corte, avanço e profundidade de corte. Os critérios relevantes para a decisão foram a rugosidade da peça usinada, a temperatura de corte e a espessura de cavaco.

Thirumalai e Senthilkumaar (2013) utilizaram um método multicritério para selecionar os parâmetros de corte para torneamento de Inconel 718, por meio da análise do desempenho das combinações de parâmetros, em relação ao desgaste de flanco das ferramentas, rugosidade da superfície usinada, tempo de vida da ferramenta, forças de corte, consumo de energia e taxa de remoção de material.

Porém verifica-se que os trabalhos citados não associaram aos aspectos técnicos do processo de fabricação analisado, aspectos econômicos como custos com insertos e porta-ferramenta.

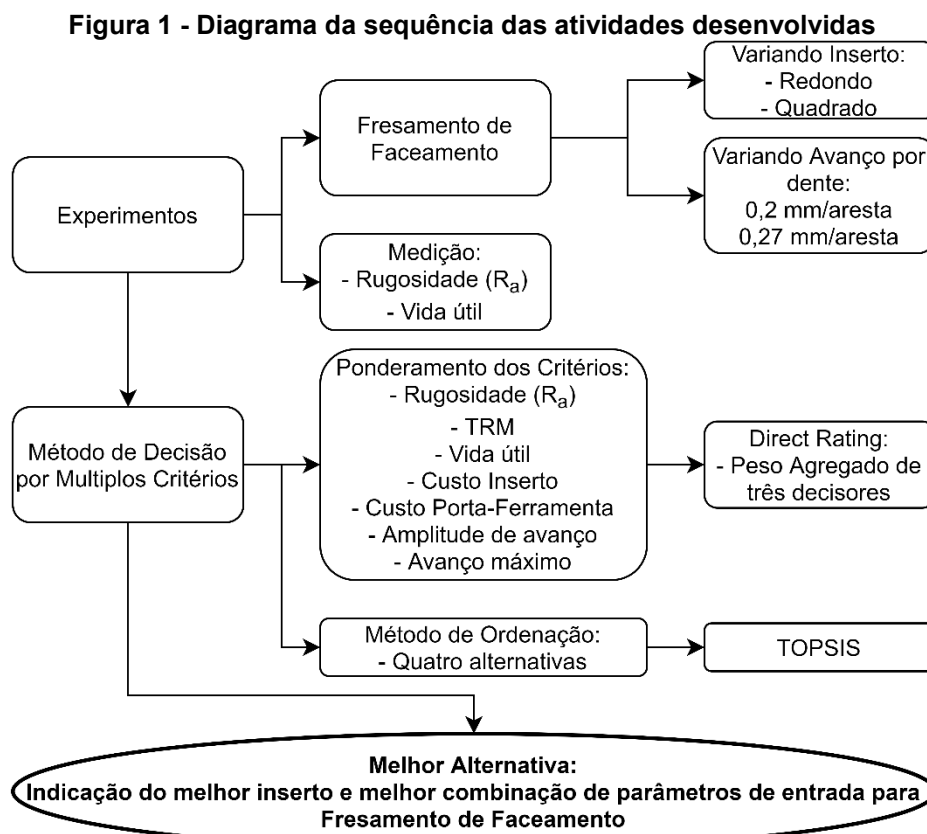
Dentro da indústria metal-mecânica, o processo de usinagem por fresamento é o segundo mais utilizado, possuindo grande variação quanto ao tipo de máquina-ferramenta utilizado, movimento da peça, tipos de ferramentas, material usinado, tipo de fresamento (concordante e discordante), velocidade de corte, profundidade de corte, avanço por aresta, custos envolvidos, entre outros. As aplicações frequentes do processo são para obtenção de superfícies planas, rasgos, ranhuras, perfis, contornos, cavidades, roscas, entre outros. O movimento relativo pode ser resultante apenas da movimentação da ferramenta sobre a peça, ou ainda, ser resultante de uma combinação de movimentos de ambos. Como vantagens gerais do processo de fresamento podem-se citar as altas taxas de remoção obtidas e a possibilidade de obtenção de superfícies de elevada qualidade e complexidade (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

Como existe uma grande variabilidade em relação à parâmetros de entrada nos processos de fresamento, a combinação destas condições resulta em diferentes parâmetros de saída nos processos que podem ser analisados, como: o desgaste da ferramenta utilizada, a produtividade, os custos envolvidos, a qualidade da superfície fresada, entre outras.

Portanto, o objetivo desse estudo é desenvolver uma metodologia que auxilie na seleção de combinações de parâmetros de entrada e de inserto utilizados no fresamento de faceamento para acabamento em aço ABNT 1045. Para isso, a análise de critérios relevantes que mensuram a qualidade, os custos, a produtividade, a vida útil e a amplitude de aplicação das ferramentas permite que esta seleção seja ajustada aos interesses de decisores.

2. Metodologia

A sequência de atividades propostas para a execução deste estudo está descrita no diagrama da Figura 1. A metodologia é dividida em duas etapas: experimentos de fresamento de faceamento de acabamento em aço ABNT 1045 e levantamento de dados relacionados à qualidade da peça fabricada, tempo de vida útil da ferramenta, custos com inserto e cabeçote, amplitude e capacidade de avanço das ferramentas utilizadas e taxa de remoção de material; e aplicação dos métodos de ponderamento e de ordenação das alternativas de acordo com o desempenho destas em cada critério considerado relevante.



Fonte: Autoria própria

2.1 Experimentos e levantamento de dados de desempenho

O material usinado foi o aço ABNT 1045. Na Tabela 1 são mostrados os elementos de liga que compõe o aço ABNT 1045, segundo norma da ABNT (2000). Também é indicada a média dos elementos de liga que compõem os corpos de prova utilizados nos experimentos de fresamento de faceamento.

Tabela 1 - Composição química do aço 1045 da Norma ABNT e composição química dos aços dos corpos de prova

AÇO	%Cmax	%Pmax	%Smax	%Mnmax	%Simax
AISI 1045 (NORMA ABNT)	0,5	0,04	0,05	0,9	0,35
AISI 1045 - CORPOS DE PROVA	0,523	0,006	0,007	0,617	0,173

Fonte: Adaptado de ABNT (2000) e Autoria Própria

Os corpos de prova foram seccionados em blocos com 500 mm de comprimento, 150 mm de espessura e 250 mm de largura. Os experimentos de fresamento de faceamento foram realizados em uma fresadora universal da marca CLARK, modelo FH 4. O fresamento foi realizado sem utilização de fluido de corte, em operações de acabamento concordante. Os parâmetros de entrada utilizados nos experimentos de fresamento de faceamento estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de corte e insertos utilizados nos experimentos

Condição	Avanço da mesa (v_f) (mm/min)	Profundidade de corte axial (a_p) (mm)	Profundidade radial de corte (a_e) (mm)	Inserto	Avanço por aresta (f_z) (mm/aresta)
Condição 1	247	1,5	50	R345R-1305M-PM 4230 Fabricante: Sandvik	0,2
Condição 2	342,4	1,5	50	 a)	0,27
Condição 3	247	1,5	50	RCKT-1204M0-PM 4240 Fabricante: Sandvik	0,2
Condição 4	342,4	1,5	50	 b)	0,27

Fonte: Autoria própria

Para os insertos quadrados (Condições 1 e 2), foi utilizado um cabeçote de fresamento de 68mm de diâmetro (código R200-068Q27-12L). Para os insertos redondos (Condições 3 e 4), foi utilizado um cabeçote de fresamento de 63 mm de diâmetro que suporta até quatro insertos (código 345-063Q22-13L).

Os corpos de prova foram usinados até que a ferramenta atingisse o desgaste de flanco máximo ($VB_{máx}$) igual a 0,2 mm, ou até o inserto apresentar uma avaria ou quebra. Foi calculado o tempo total de vida útil da ferramenta. A condição de corte foi então alterada e o experimento se repetiu até o encerramento das quatro combinações de condições analisadas. Foram realizadas réplicas dos experimentos nas quatro condições e valores médios foram considerados nos dados levantados.

A rugosidade média (R_a) foi medida em 6 diferentes regiões da superfície da peça usinada, ao longo de toda a vida da ferramenta, em intervalos entre passes, no sentido do avanço, com auxílio de um Rugosímetro Mitutoyo SurfTest SJ-410. Foi então calculada a rugosidade média da superfície usinada, em cada Condição.

A Taxa de Remoção de Material foi calculada de acordo com a equação 1.

$$TRM = a_p \times a_e \times v_f \quad (1)$$

Os custos do inserto foram calculados de acordo com o custo unitário da ferramenta, dividido pelo número de arestas de corte do inserto e foi estabelecida uma correlação entre os valores dos diferentes tipos de insertos. Os custos dos cabeçotes foram estabelecidos por meio da divisão do valor unitário do cabeçote por 200, que indica o número recomendado de operações de fresamento que o cabeçote realiza, sem a necessidade de manutenção ou substituição. Os valores também foram correlacionados entre os cabeçotes analisados.

Também foram levantados de acordo com as recomendações dos fabricantes, o avanço por aresta máximo e a amplitude de avanço por aresta, recomendados para cada tipo de inserto analisado.

2.2 Método de auxílio à tomada de decisão

2.2.1 Modelo de Decisão

Segundo Tzeng e Huang (2011) dado um conjunto de alternativas $A = \{A_i \mid k = 1, \dots, n\}$, e um conjunto de critérios, $C = \{C_j \mid j = 1, \dots, m\}$, onde $X = \{X_{ij} \mid k = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$ denotam um conjunto de ranking de performance e $w = \{w_j \mid j = 1, \dots, m\}$ um conjunto de pesos. Essas informações são compiladas na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de Decisão

Alternativas	C_1	C_2	...	C_m
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}
W	w_1	w_2	...	w_m

Fonte: Adaptado de Huang e Tzeng (2011)

2.2.2 Método de Ponderamento

O método *Direct rating* foi realizado com base no que foi proposto por Nijkamp, Rietveld e Voogd (1990), atribuindo-se o grau de importância de 1 (para critério de menor importância) a 10 (para o critério de maior importância), de acordo com a preferência de decisores. Na sequência normaliza-se os pesos dos critérios para obtenção dos pesos normalizados, por meio da equação 2.

$$Z_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

Foram consideradas as opiniões de três decisores e foi realizada a média aritmética para obtenção dos pesos agregados dos critérios.

2.2.3 Método de decisão: TOPSIS

O método TOPSIS é baseado no conceito de que a alternativa ótima deveria ser aquela mais próxima da solução ideal, e a mais distante da solução anti-ideal (ZELENY, 1976). Seguem os passos para aplicação do método:

1º Passo: A matriz de decisão é normalizada, considerando:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3)$$

2º Passo: Todos os valores v_{ij} são calculados:

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (4)$$

3º Passo: As soluções ideal/preferível (A^*) e anti-ideal/não preferível (A^-) são determinadas por:

$$A^* = \{(max_i(v_{ij}) | j \in Max^+), (min_i(v_{ij}) | j \in Min^-) | i = 1, \dots, m\} \quad (5)$$

$$A^- = \{(min_i(v_{ij}) | j \in Max^+), (max_i(v_{ij}) | j \in Min^-) | i = 1, \dots, m\} \quad (6)$$

Onde, Max^+ representa os critérios positivos (maximização / benefício) e Min^- representa os critérios negativos (minimização / custo).

4º Passo: A distância de cada alternativa em relação às soluções ideal e anti-ideal são determinadas usando a distância Euclidiana.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

Onde, S_i^* indica a distância entre as alternativas e a solução ideal; S_i^- indica a distância entre as alternativas e a solução anti-ideal; v_j^* indica o melhor valor para o critério j ; e v_j^- indica o pior valor para o critério j .

5º Passo: A proximidade relativa, C_i^* , da alternativa i para a solução ideal é determinada por:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}; C_i^* \in [0,1] \forall i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$C_i^* = 1 \text{ if } A_i = A^*$$

$$C_i^* = 0 \text{ if } A_i = A^-$$

3. Resultados e discussões

Os experimentos de fresamento de faceamento de acabamento em aço ABNT 1045 foram desenvolvidos e os resultados referentes à rugosidade, taxa de remoção de material, tempo de vida útil da ferramenta, custos com insertos e com o cabeçote, amplitude de avanço e avanço máximo de cada inserto, recomendados pelo fabricante, foram coletados e organizados como critérios na Tabela 4. A matriz decisão então foi definida de acordo com as alternativas alinhadas em quatro combinações de parâmetros e insertos analisados.

Tabela 4 - Matriz de decisão

Aspectos analisados	Critério	Objetivo	Alternativa 1 (Cond. 1)	Alternativa 2 (Cond. 2)	Alternativa 3 (Cond. 3)	Alternativa 4 (Cond. 4)
Qualidade	Rugosidade (Ra) (μm) (C1)	min.*	1,380	1,056	0,981	1,243
Resistência	Tempo de vida útil (min) (C2)	max.**	83,22	78,5	101,4	93,18
Produtividade	TRM (cm^3/min) (C3)	max.	18,525	25,68	18,525	25,68
Custo	Custo/inserto (C4)	min.	1,77	1,77	1,00	1,00
Custo	Custo/cabeçote (C5)	min.	1,00	1,00	1,13	1,13
Variabilidade	Amplitude de avanço recomendada (C6)	max.	1,33	1,33	1	1
Produtividade	Avanço máximo recomendado (C7)	max.	1,43	1,43	1	1

*min = minimizar; **max = maximizar

Fonte: Aatoria Própria

Verifica-se que a matriz de decisão possui critérios que estão relacionados à análise de desempenho das ferramentas em diferentes condições de avanço por aresta. Aspectos relacionados à resistência da ferramenta, qualidade superficial da peça usinada e produtividade de cada condição. Verifica-se também que critérios associados às características do inserto e do cabeçote utilizados, são avaliados pelo método, já que os custos envolvidos na aquisição do inserto e do cabeçote, a amplitude de avanço recomendada pelo fabricante e o avanço máximo recomendado pelo fabricante, também fazem parte dos critérios mensurados e considerados como relevantes na tomada de decisão. Portanto, verifica-se que o método permite a incorporação de aspectos que permeiam uma vasta gama de variáveis do processo de fabricação, que por sua vez o torna robusto para obtenção de uma ordenação fiel aos interesses dos decisores.

A coluna objetivo na Tabela 4 está especificando quais são os critérios de benefício (maximização) e quais são os critérios de custo (minimização). Entende-se que para o fresamento de faceamento, os critérios tempo de vida útil, TRM, amplitude de avanço recomendada e avanço máximo recomendado são critérios que se deseja a maximização. E os critérios rugosidade média, custos do inserto e custo do cabeçote se deseja a minimização.

O ponderamento dos critérios está descrito na Tabela 5. Os pesos dados para os critérios por cada um dos três decisores e o valor do peso agregado, utilizado na aplicação do método de decisão, estão apresentados. Uma das vantagens do método *Direct Rating* aplicado neste estudo, em relação à outros métodos de ponderamento, é sua simplicidade para o tratamento dos dados e a facilidade para o entendimento dos decisores no momento do preenchimento dos graus de importância dos critérios.

Tabela 5 - Ponderamento dos Critérios

Critérios	Pesos Decisor 1	Pesos Decisor 2	Pesos Decisor 3	Pesos Agregados
Rugosidade (R _a) (C1)	0,214	0,205	0,175	0,198
Tempo de vida útil (C2)	0,119	0,179	0,150	0,150
TRM (C3)	0,119	0,077	0,100	0,099
Custo/inserto (C4)	0,190	0,128	0,175	0,165
Custo/cabeçote (C5)	0,071	0,103	0,100	0,091
Amplitude de avanço recomendada (C6)	0,167	0,128	0,150	0,148
Avanço máximo recomendado (C7)	0,119	0,179	0,150	0,150

Fonte: Autoria Própria

Verifica-se de acordo com a Tabela 5 que o critério de maior relevância para os decisores, de acordo com os pesos agregados, é a rugosidade média (R_a) (C1). Isso se deve ao fato de que o objetivo do processo de fabricação analisado estar associado à operação de acabamento, ou seja, deseja-se otimizar a qualidade do acabamento superficial da peça usinada.

O critério de menor relevância para os decisores foi o custo do cabeçote. Apesar da importância relativamente alta dos custos com insertos (segundo critério mais importante indicado pelos pesos agregados), entende-se que o custo do cabeçote tem menor relevância pois é diluído em diversas operações de fresamento, que este cabeçote resiste, até a necessidade de manutenção ou substituição do mesmo.

A Tabela 6 apresenta o resultado da ordenação das alternativas por meio do método TOPSIS.

Tabela 6 - Resultado da Ordenação pelo método TOPSIS

Alternativa	C_i*	Ordenação
Alternativa 1	0,363409	4
Alternativa 2	0,487977	3
Alternativa 3	0,611265	1
Alternativa 4	0,548851	2

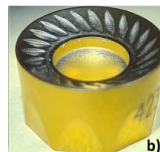
Fonte: Autoria Própria

Os resultados indicaram que a melhor alternativa para o fresamento de faceamento para acabamento em aço ABNT 1045, é a Alternativa 3. A Tabela 7 indica os parâmetros da Alternativa 3.

Tabela 7 - Parâmetros, especificação de inserto e cabeçote e indicação do desempenho da Alternativa 3

Alternativa 3	
Velocidade de corte (V _c)	297 m/min
Avanço por aresta (f _z)	0,2 mm/aresta
Profundidade de corte axial (a _p)	1,5 mm
Profundidade de corte radial (a _e)	50 mm
Avanço da mesa (v _f)	247 mm/min
Inserto	RCKT-1204M0-PM 4240

Fabricante: Sandvik



R200-068Q27-12L
Fabricante: Sandvik

Cabeçote



Custo unitário inserto (aproximado) (R\$)	75,01
Custo unitário cabeçote (aproximado) (R\$)	3.194,96
Amplitude de avanço recomendada	0,18 mm/aresta
Avanço máximo recomendado	0,28 mm/aresta
Desempenho	
Rugosidade (R_a) (μm)	0,981
Tempo de vida útil (min)	101,4
TRM (cm^3/min)	18,525

Fonte: Autoria Própria

Verifica-se que a Alternativa 3 apresenta a menor rugosidade entre as quatro Alternativas testadas. Fato que corrobora na indicação desta alternativa, se comparada às demais, considerando que o critério de maior importância para os decisores foi a Rugosidade média.

A resistência do inserto redondo também foi maior de comparada à resistência dos insertos quadrados. O tempo de vida útil das ferramentas redondas, tanto na Alternativa 3, quanto na Alternativa 4, foi maior, se comparado aos tempos de vida das ferramentas quadradas (Alternativas 1 e 2). Portanto, além da obtenção de melhor acabamento, a ferramenta redonda também permanece por maior tempo usinando, até atingir o limite de falha estabelecido.

Apesar do custo do cabeçote utilizado com o inserto redondo ser maior, se comparado ao custo do cabeçote utilizado com os insertos quadrados, o custo do inserto redondo é menor que o custo do inserto quadrado. Para os decisores, a importância do custo do inserto é a segunda maior entre os critérios considerados relevantes. Já o custo dos cabeçotes tem a menor importância para os decisores. Na Alternativa 3 foi utilizado o inserto redondo, ou seja, com o cabeçote mais caro, porém com o inserto de menor custo. Mais um fator que indica que o resultado apresenta consistência em relação ao interesse de minimização de custos com inserto, apresentado pelos decisores, por meio dos pesos agregados.

A TRM da Alternativa 3 é menor, se comparada às Alternativas 2 e 4. Porém, como a importância da TRM para os decisores foi a segunda menor, entende-se que o resultado prioriza as preferências do decisor, já que não existe uma alternativa que seja ideal em todos os critérios analisados.

Portanto foi desenvolvida uma metodologia de ordenação de combinações de parâmetros de entrada e insertos utilizados para o fresamento de faceamento de acabamento em aço ABNT 1045. Analisando-se a qualidade, os custos, a produtividade, a vida útil e a amplitude

de aplicação das ferramentas analisadas, foi possível indicar pelo resultado do método, qual é a melhor alternativa, de acordo com as preferências de decisores.

Ressalta-se que se outros decisores forem participar do ponderamento dos pesos dos critérios, é possível que outra alternativa seja indicada. Fator que indica que o método desenvolvido permite que a seleção dos parâmetros de entrada, e do inserto utilizado, sejam os melhores, de acordo com as preferências de quem está decidindo.

4. Conclusões

Foi desenvolvido um método de auxílio para seleção de parâmetros de entrada e de inserto para operações de fresamento de faceamento em aço ABNT 1045. Neste estudo foi observado que a aplicação do método de auxílio a decisão por múltiplos critérios foi capaz de indicar qual a melhor alternativa para o processo de fabricação analisado.

Os critérios utilizados para análise do desempenho das alternativas foram capazes de mensurar aspectos relacionados à qualidade de processo, produtividade, resistência dos insertos, amplitude de recomendações de aplicação dos insertos e os custos de ferramental. Permitindo assim, subsidiar com informações robustas o processo de seleção do inserto e dos parâmetros de entrada mais adequados.

O método *Direct Rating*, aplicado para o ponderamento dos critérios, se mostrou eficaz na tradução dos anseios dos decisores em relação à importância dos critérios analisados. O método ainda tem a vantagem da simplicidade para aplicação e é de fácil entendimento para os decisores estimarem suas preferências.

A alternativa 3, com inserto redondo e menor avanço por aresta (0,2 mm/aresta), que produziu uma superfície com menor rugosidade e teve maior tempo de usinagem até a falha, foi a alternativa indicada pelo método de decisão. Porém, entende-se que se outros decisores forem consultados e os pesos dos critérios forem alterados, há a possibilidade de outra alternativa ser indicada, pois nenhuma delas é totalmente dominante em relação aos critérios, ou seja, nenhuma das alternativas é ideal em todos os critérios analisados na seleção da melhor alternativa de processo de fresamento de faceamento.

Por fim, entende-se que o método permite que outras alternativas sejam consideradas como possíveis e outros critérios ainda sejam incorporados, de acordo com necessidades de determinados decisores, exigindo apenas adequações, mas garantindo a aplicabilidade da metodologia em outros problemas de interesse.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aços Carbono e Ligados para Construção Mecânica - Designação e Composição Química**, NBR NM 87/2000. Rio de Janeiro, 2000.

ARAUJO, F. K. DE. **PROPOSTA DE UM MÉTODO MULTICRITERIAL PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DO RAMO METALOMECÂNICO**. Dissertação (Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

ÇALIŞKAN, H. et al. Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. **Materials and Design**, v. 45, p. 473–479, 2013.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos**

Materiais. 9. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2014.

GONÇALVES, M. **UMA PROPOSTA DE MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE MELHORIAS INTANGÍVEIS EM UM AMBIENTE PRODUTIVO**. Dissertação (Engenharia de Produção) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2015.

LUKIC, D. et al. Multi-criteria selection of the optimal parameters for high-speed machining of aluminum alloy al7075 thin-walled parts. **Metals**, v. 10, n. 12, p. 1–22, 2020.

MACHADO, Á. R. ET AL. **Teoria da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

MAJUMDER, H.; SAHA, A. Application of MCDM based hybrid optimization tool during turning of ASTM A588. **Decision Science Letters**, v. 7, n. 2, p. 143–156, 2018.

NARESH BABU, M.; ANANDAN, V.; DINESH BABU, M. Performance of ionic liquid as a lubricant in turning inconel 825 via minimum quantity lubrication method. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 64, n. June 2020, p. 793–804, 2021.

NIJKAMP, P.; RIETVELD, P.; VOOGD, H. **Multicriteria Evaluation in Physical Planning**. 1. ed. New York: Elsevier, 1990.

PENG, C.; DU, H.; WARREN LIAO, T. A research on the cutting database system based on machining features and TOPSIS. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 43, p. 96–104, 2017.

POLACHINI, G. **SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO COM O MÉTODO FUZZY-TOPSIS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

THIRUMALAI, R.; SENTHILKUMAAR, J. S. Multi-criteria decision making in the selection of machining parameters for Inconel 718. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 27, n. 4, p. 1109–1116, 2013.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and applications**. New York: Taylor & Francis, 2011.

ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making Kyoto 1975**. New York: Springer-Verlag, 1976. v. 1