

## **ABORDAGEM HÍBRIDA MULTIVARIADA APLICADA À OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FRESAMENTO DE TOPO DO AÇO ABNT 1045**

**Danielle Martins Duarte Costa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, IFSULDEMINAS.  
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).  
Avenida Maria da Conceição Santos, 1730, Pouso Alegre - MG  
[danielle.costa@ifsuldeminas.edu.br](mailto:danielle.costa@ifsuldeminas.edu.br)

**Taynara Inerti de Paula**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).  
Avenida BPS, 1303, Itajubá - MG  
[taynaraincerti@unifei.edu.br](mailto:taynaraincerti@unifei.edu.br)

**Tarcísio Gonçalves Brito**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).  
Avenida BPS, 1303, Itajubá - MG  
[engetarc.gb@ig.com](mailto:engetarc.gb@ig.com)

**Anderson Paulo de Paiva**

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).  
Avenida BPS, 1303, Itajubá - MG  
[andersonppaiva@unifei.edu.br](mailto:andersonppaiva@unifei.edu.br)

### **RESUMO**

Na procura por melhores condições de operação do processo de fabricação deve-se avaliar o comportamento de múltiplas características de qualidade que são muitas vezes, correlacionadas e com diferentes objetivos de otimização. Ignorar a existência de correlação entre as variáveis pode levar à uma resposta ótima inadequada comprometendo a eficiência dos métodos estatísticos empregados (PAIVA et al., 2009). A influência da correlação torna-se também importante no contexto de Fronteiras de Pareto. Uma vez que a fronteira é obtido por um processo de pesagem com duas ou mais funções objetivas, se a correlação é forte e se for negligenciada, os pesos promovem uma separação que, na prática, não existe. O Método de Interseção Normal à Fronteira (Das e Dennis, 1998) é um método de otimização multi-objetivo desenvolvido principalmente para compensar as deficiências atribuídas ao método de Somas Ponderadas (WS), tais como a sua incapacidade para encontrar uma propagação uniforme de soluções ótimas de Pareto. No entanto, se as funções múltiplas são positivamente correlacionados e com objetivos conflitantes, o método NBI tende a falhar produzindo resultados irrealis e fronteiras não-convexas. Para superar esta desvantagem, a fronteira de Pareto deve ser projetada com funções objetivo não correlacionadas. Este procedimento pode ser feito usando o método de Análise de Componentes Principais (PCA). Assim, este trabalho apresenta uma abordagem híbrida alternativa, combinando o método NBI e PCA para otimizar múltiplas respostas correlacionadas em um processo de fresamento de topo final do aço AISI 1045. Um conjunto sequencial de 30 experimentos foram estabelecidos usando um Arranjo Composto Central (CCD), criado para quatro parâmetros em dois níveis, oito pontos axiais e seis pontos centrais. Os parâmetros de corte foram: taxa alimentar ( $f_z$ ), a profundidade axial de corte ( $a_p$ ), velocidade ( $V_c$ ) e profundidade radial de corte ( $a_e$ ). Cinco parâmetros de rugosidade da superfície e a taxa de remoção de material (MRR) foram as respostas mensuradas. A otimização pelo método WS e PCA foi desenvolvida sob as mesmas condições. Pela abordagem NBI-PCA, os níveis ótimos de parâmetros do processo para minimizar as rugosidades e maximizar a taxa de remoção foram,  $V_c$

de 330,53 m/min, fz de 0,08mm /tooth, ap de 1,67mm e ae de 16,8mm. Para o método WS, os níveis ótimos encontrados foram Vc de 328,05m/min, fz de 0,05 mm/tooth, ap de 1,17mm e ae de 16,41mm. Em seguida, 26 experimentos de confirmação, sob as condições experimentais ótimas encontradas para ambos os métodos, foram realizados confirmando os resultados teóricos e indicando um melhor ajuste para o método NBI-PCA.

**PALAVRAS CHAVE:** Otimização, Interseção Normal à Fronteira, Análise de Componentes Principais

**Área principal:** EST (Estatística)

### ABSTRACT

Aiming better operating conditions of the manufacturing process should be evaluate multiple quality characteristics that are often correlated and with different optimization objectives. Ignore the correlation among variables can lead to inadequate optimal response compromising the efficiency of the statistical methods employed (PAIVA et al., 2009). The correlation influence becomes also important in the context of Pareto Frontiers. Since the frontier is obtained by an weighing process among the two or more objective function, if the correlation is strong and if it is neglected, the weights promote a separation that does not exist in practice. Normal Boundary Intersection (NBI) (Das and Dennis, 1998) is a multiobjective optimization method developed mainly to compensate the shortcomings attributed to the method of Weighted Sums (WS) such as its inability to find a uniform spread of Pareto optimal solutions. However, if multiples functions are positively correlated and with conflicting objectives, the NBI method tends to fail producing unreal results and non-convex frontiers. To overcome this drawback, the Pareto frontier may be designed with uncorrelated objective functions. This procedure can be done using Principal Components Analysis method. Thus, this paper presents an alternative hybrid approach, combining NBI method and PCA to optimize multiple correlated responses in a end milling process of the AISI 1045 steel. A sequential set of 30 experiments were established using a Central Composite Design (CCD), created for four parameters at two levels, eight axial points and six center points. The cutting parameters: feed rate (fz), axial depth of cut (ap), Cutting speed (Vc) and radial depth of cut (ae). Five surface roughness parameters and the Material Removal Rate (MRR) were outputs measured. The optimization by WS and PCA was carried out under the same procedure. From NBI-PCA approach, the optimal levels of process parameters to minimize roughness and maximize MRR were: Vc de 330.53 m/min. fz de 0.08mm /tooth. ap de 1.67mm e ae de 16.8mm. From WS method, the optimal levels Vc de 328.05m/min. fz de 0.05 mm/tooth. ap de 1.17mm e ae de 16.41mm were found. Then, a series of 26 confirmation experiments under optimal experimental conditions found for both methods were performed and confirmed the theoretical results. It indicate a better fit for the NBI-PDA method.

**KEYWORDS:** Optimization, Normal Boundary Intersection, Principal Components Analysis

**Main area:** EST (Statistic)