

ANÁLISE DE PARÂMETROS NA REMOÇÃO DE METAL DURO UTILIZANDO WEDM

Giovani Conrado Carlini, giovani.carlini@gmail.com¹

Fabio Antonio Xavier, f.xavier@ufsc.br¹

Walter Lindolfo Weingaertner, w.l.weingaertner@ufsc.br¹

Hector Di Maiochi, hector.maiochi@gmail.com²

Eduardo Fodi, eduardo.fodi@gmail.com³

¹Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Universitário – Trindade

²Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Rau, Rua dos Imigrantes nº445

³Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville, Perini Business Park

Resumo: O processo de remoção por eletroerosão a fio (WEDM) possui grande aplicabilidade na indústria, perante as difíceis condições físicas na remoção em determinados tipos de materiais, que são utilizados em aplicações específicas, como o metal duro. Diversos estudos são realizados para contribuir na diminuição de não conformidades, oportunizando parâmetros de contorno em todas as variáveis do processo, na tentativa de otimizar, continuamente, a operação por EDM. As características físicas do material de estudo influenciam significativamente no processo de eletroerosão, tornando-se difícil a remoção por apresenta apenas uma pequena parcela da sua composição ser metálica. Este estudo teve como objetivo a busca pela compreensão dos parâmetros de entrada em variáveis de saída como a rugosidade e a eficiência do processo. Foram analisadas diferentes condições de remoção, variando o tempo de pulso, tempo de pausa e corrente de pulso. Os resultados mostraram que a corrente de pulso teve grande influência sobre o tempo de usinagem e textura da superfície.

Palavras-chave: Remoção, Metal Duro, WEDM, Textura da superfície

1. INTRODUÇÃO

O processo de eletroerosão a fio pode ser definido como um processo termoeletrônico no qual ocorre uma descarga de energia entre um eletrodo e uma peça de trabalho. O espaço deixado entre a peça de trabalho e o eletrodo é conhecido como fenda de trabalho e essa deve estar imersa em um fluido dielétrico para que ocorra o princípio físico responsável pelo aquecimento, vaporização e remoção do material (Klocke, F. et al, 1997).

As descargas elétricas ocorrem em um período de tempo muito curto, em um espaço muito estreito cheio de líquido, envolvendo o derretimento e a evaporação do eletrodo-ferramenta e da peça, tornando a análise observacional e teórica extremamente difícil (KLOCKE, F.; KÖNIG, 2007). A aplicação das máquinas de descarga elétrica (EDM) é realizada no lugar de algumas operações de usinagem convencionais, possibilitando a usinagem do material com altas durezas e tratados termicamente, sem influenciar na variabilidade dimensional ou geométrica, que são comuns em processos de pós-aquecimento (K. H. Ho and S. T. Newman, 2003).

Mesmo após anos da proposta do uso de descargas elétricas como um mecanismo de remoção de material, o processo EDM ainda não têm suas variáveis totalmente definidas sobre a usinagem de alguns tipos de materiais, fazendo com que o mesmo não seja bem aproveitado em termos de eficiência na remoção de material ou do desgaste do eletrodo (B. M. Schumacher, 2004). A erodibilidade do material da peça de trabalho apresenta relação com suas propriedades mecânicas, a composição química e consequentemente as propriedades físicas exercem grande influência no processo EDM (König, W. and Klocke, F, 1997).

Visando compreender melhor o comportamento do processo de remoção por descarga elétrica a fio – *wire electrical discharge machining* (WEDM) em função de algumas de suas variáveis de entrada na remoção de peças em metal duro, este trabalho tem por objetivo estudar comportamentos relacionado à textura da superfície e a velocidade de erosão (V_e). Perante as difíceis condições físicas na remoção e exigências da qualidade do setor industrial, vários estudos são realizados para contribuir na diminuição de não conformidades, oportunizando parâmetros de contorno em todas as variáveis do processo, na tentativa de otimizar, continuamente, a operação por EDM (AMORIM e WEINGAERTNER, 2010) e (NIAMAT et al., 2017)

Alguns modelos de WEDM não possuem indicações previamente definidas para operações de remoção em componentes de metal duro e essas informações são de difícil acesso ou são obtidas através de ensaios empíricos, também, pelo *know-how* de determinado setor atuante no segmento. Essas informações podem ser tratadas como parâmetros de ordem elétrica e parâmetros não-elétricos, como por exemplo: tempos de descarga e de pausa, materiais de eletrodo-ferramentas, variações de meios e de dielétrico e fixação.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a elaboração deste estudo foi desenvolvida uma sequência lógica para a organização das etapas de execução dos ensaios, avaliação dos resultados e conclusões. O fluxograma apresentado na Figura 1 expõe de maneira objetiva a ordem de realização dos experimentos.

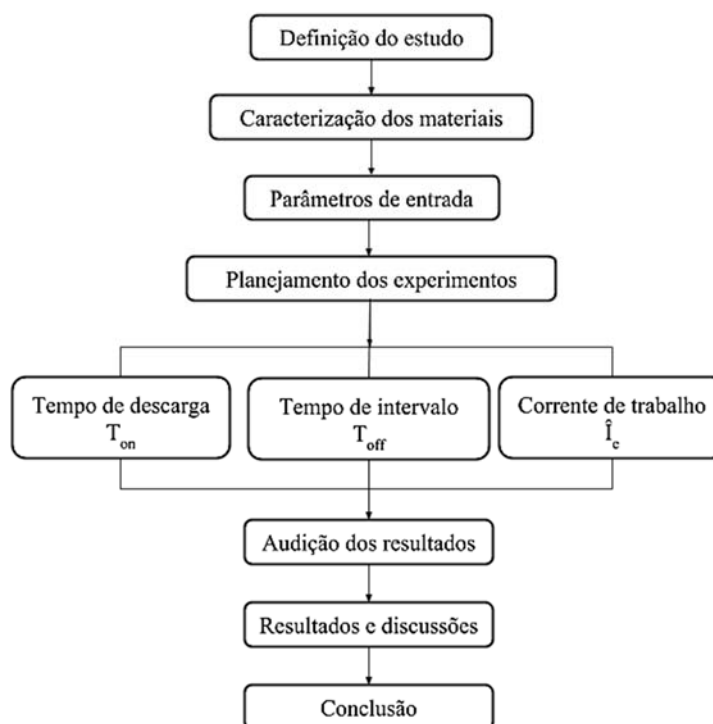


Figura 1. Fluxograma de execução das etapas do estudo

Para este estudo utilizou-se uma máquina de eletroerosão a fio GF AgieCharmilles modelo FW1U com fio de molibdênio recíprocante com diâmetro de 0,2mm. O gerador integrado ao equipamento caracteriza-se como de pulsos iso-energéticos, com tensão em aberto de 80 V. O material a ser usinado foi uma barra redonda de WC-Co classe K30 de 10mm de diâmetro fixadas em uma morsa de precisão sobre o barramento da máquina. Foram feitos cortes no sentido da seção transversal do cilindro de modo a retirar pequenas amostras do material para a medição da rugosidade e avaliação da velocidade da remoção de material.

Neste estudo o meio dielétrico aplicado foi a água destilada. A água destilada, ou desmineralizada, é uma alternativa estudada e aplicada em situações nas quais requerem-se a substituição de hidrocarbonetos, óleos minerais e óleos vegetais (Niamat, M. et al., 2017). Esses tipos de dielétricos são de difícil descarte, o que faz da água destilada uma alternativa viável para o processo de eletroerosão.

Os valores das variáveis de entrada são apresentados na Tabela 1, sendo que o valor de corrente de trabalho ($\hat{I}_c$) apresentado neste estudo não representa a real grandeza da variável, e sim uma escala numérica diretamente proporcional ao ganho da corrente de trabalho. Os valores de tempo de descarga (T_{on}) e tempo de intervalo (T_{off}) são apresentados em microssegundos (μs).

Tabela 1. Valores das variáveis de entrada

$T_{on} (\mu s)$	$T_{off} (\mu s)$	$\hat{I}_c$
11	50	5
21	75	7
31	100	9

Com os valores apresentados na Tabela 1, desenvolveu-se um experimento fatorial completo, gerando assim um total de 27 ensaios a serem realizados. Esses ensaios foram realizados em ordem, sem qualquer tipo de aleatoriedade entre si. Para todo o experimento foi utilizado o mesmo fio de molibdênio além do mesmo fluido dielétrico alocado em um

reservatório de aproximadamente 80 litros, filtrados primeiramente com feltro tipo manta, decantação por gravidade e filtrado por um elemento de cartucho com capacidade de retenção na ordem de 3 à 5µm.

A representação gráfica do procedimento experimental de usinagem é mostrada na Figura 2.

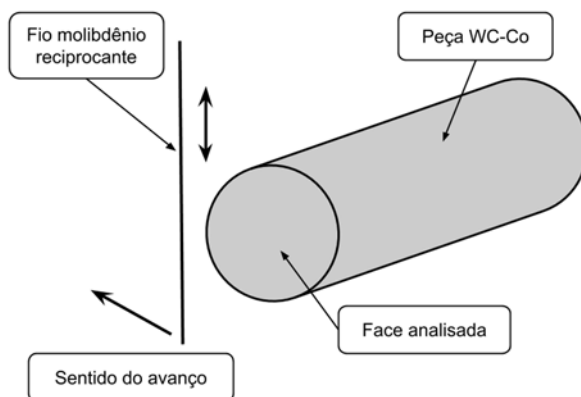


Figura 2. Representação do procedimento experimental de usinagem

O modelo de equipamento utilizado não possui parâmetros de entrada padrão para erosão de metal duro, utilizou-se, no entanto, o fio de molibdênio como o cátodo (positivo) e a peça de metal duro o ânodo (negativo). Condição essa utilizada visando uma maior taxa de erosão da peça, porém, o desgaste do fio deva ser considerado já que a ionização entre o par de trabalho fio/peça força os elétrons livres da peça para o fio, causando grande concentração de energia que se transforma em calor. Quando o pulso de energia acaba, implosão do canal de plasma deteriora acentuadamente regiões aleatórias do fio recíprocante.

3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram definidas como variáveis de saída deste experimento a rugosidade e o tempo de usinagem. A importância da avaliação dessas variáveis faz uma ponte entre a pesquisa e o setor industrial, que busca constantemente a qualidade de produtos fabricados exigidos pelo mercado e os aspectos de ordem econômica do processo, evidenciando otimizações.

O desempenho do processo constituiu no estudo da velocidade de deslocamento do fio em função das variáveis de entrada, conforme a tabela 2. A mensuração do deslocamento do fio considerou a razão do comprimento de deslocamento para o tempo de remoção. Essa grandeza é calculada internamente pelo sistema de controle e indicada pela interface IHM do equipamento conforme mostra a Figura 3.

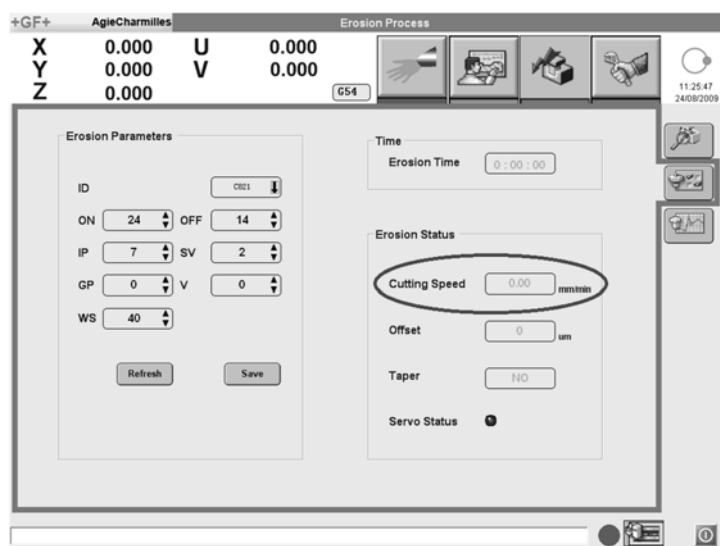


Figura 3. IHM da máquina de eletroerosão

A avaliação da rugosidade constituiu na medição do parâmetro $R_a(\mu m)$ em um comprimento de amostragem de 4mm (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1997), sendo possuindo 5 *cut-off* de 0,8mm, totalizando 5,6mm de amostragem. Esse método de avaliação é comumente utilizado em estudos envolvendo a mensuração do acabamento superficial da peça de trabalho. Para cada amostra retirada da peça de trabalho foi feita a medição da rugosidade. Como

o processo de eletroerosão não possui um sentido de corte como os processos convencionais de usinagem, não se considerou o sentido de medição da rugosidade.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização do experimento foi coletado os resultados referentes a 27 amostras, sendo essas utilizadas para os métodos de avaliação descritos anteriormente. Esses resultados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2. Resultados por amostra

Nº da amostra	T _{on} (µs)	T _{off} (µs)	Î _e	Ve (mm/min)	Ra (µm)	Desvio Padrão
1	11	50	5	2,04	4,672	0,093
2	11	50	7	2,79	4,746	0,095
3	11	50	9	3,30	5,455	0,109
4	11	75	5	1,50	5,644	0,126
5	11	75	7	2,16	4,603	0,103
6	11	75	9	2,70	6,033	0,135
7	11	100	5	1,44	5,357	0,147
8	11	100	7	1,71	5,596	0,154
9	11	100	9	2,04	6,180	0,170
10	21	50	5	1,68	5,000	0,100
11	21	50	7	2,31	6,160	0,123
12	21	50	9	3,12	5,622	0,112
13	21	75	5	1,29	5,050	0,113
14	21	75	7	2,04	6,760	0,151
15	21	75	9	2,19	6,599	0,147
16	21	100	5	1,08	5,475	0,151
17	21	100	7	1,41	5,807	0,160
18	21	100	9	1,95	6,172	0,170
19	31	50	5	1,95	5,732	0,115
20	31	50	7	2,61	6,236	0,125
21	31	50	9	3,21	5,758	0,115
22	31	75	5	1,47	4,699	0,105
23	31	75	7	2,31	4,428	0,099
24	31	75	9	3,01	6,412	0,143
25	31	100	5	1,23	4,857	0,134
26	31	100	7	1,89	5,041	0,138
27	31	100	9	2,31	5,044	0,139

Conforme mostra a Tabela 2, observa-se uma diminuição no valor do tempo de deslocamento conforme o parâmetro de corrente de trabalho ($\hat{I}_e$), sendo assim, esse parâmetro mostrou-se inversamente proporcional ao valor da velocidade de erosão. O resultado da média de velocidade diminui conforme o tempo de pausa (T_{off}) aumenta, uma vez que no tempo de pausa não há descarga elétrica. A Figura 4 exibe um gráfico de média dos efeitos de velocidade para os três valores de cada parâmetro estudado.

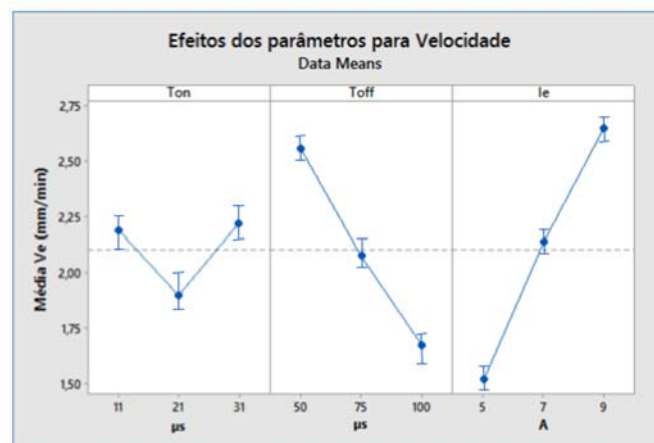


Figura 4. Média dos efeitos para a velocidade de deslocamento

Para o parâmetro do tempo de descarga (T_{on}) somente o valor de $21\mu s$ apresentou um resultado menos eficiente de velocidade de deslocamento se comparado com os outros valores de T_{on} . Esse resultado pode ser explicado pelo método de avaliação usado nesse estudo, pois não houve repetibilidade dos ensaios devido ao tempo e custo envolvido para a realização do experimento.

Analizando os parâmetros T_{on} e $\hat{I}_e$ através do gráfico de contorno, mostrado na Figura 5, é visível que valores maiores que $21\mu s$ para a corrente de trabalho resultam em velocidades de deslocamento do fio menores, sendo assim para o T_{on} diferente de $21\mu s$ a velocidade de deslocamento tende a aumentar.

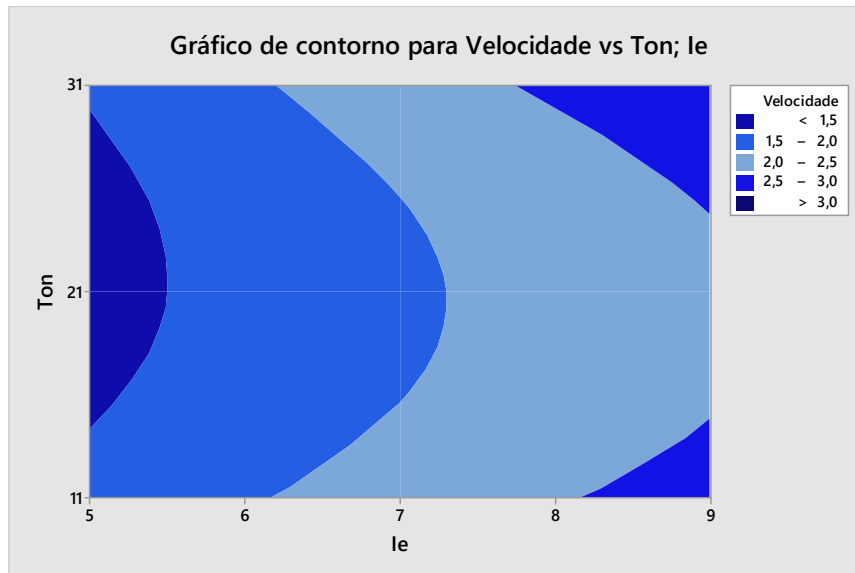


Figura 5. Gráfico de contorno de Vc x Ton; Ie

Para os valores de rugosidade não houve grande variabilidade nos resultados, também nenhum dos resultados apresentou valor menor que $4\mu m$. Com o gráfico de contorno apresentado na Figura 6 é compreensível que valores de $\hat{I}_e$ entre 7 e 9 usados com o T_{on} de $21\mu s$ resultam em valores de rugosidade entre $6\mu m$ e $6,5\mu m$, porém quando esses valores de corrente de trabalho são usados com um T_{on} de $31\mu s$ ou $11\mu s$, a rugosidade média diminui.

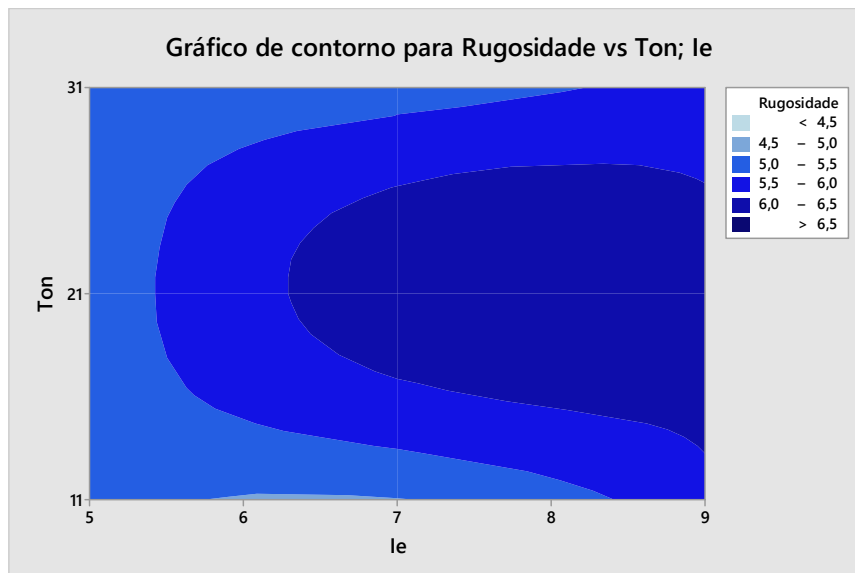


Figura 6. Gráfico de contorno Ra x Ton; $\hat{I}_e$

Quando feita uma média dos efeitos para a velocidade de deslocamento em função das variáveis de entrada, o T_{on} de $21\mu s$ e o T_{off} de $75\mu s$ apresentaram valores que resultam em rugosidade mais elevadas. A corrente de trabalho mostrou comportamento quase linear nesta análise. A Figura 7 mostra o gráfico de média dos efeitos para a velocidade em função das variáveis de entrada.

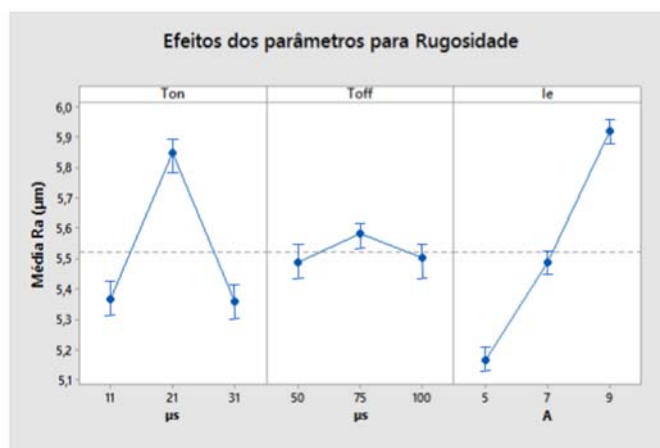


Figura 7. Gráfico de média dos efeitos para a velocidade em função das variáveis de entrada

5. CONCLUSÃO

Na WEDM, há uma grande quantidade de parâmetros de entrada, considerando as variáveis elétricas e não-elétricas inerentes ao processo. Assim, neste trabalho, realizou-se uma série de experimentos para fornecer diretrizes úteis para otimizar a WEDM nos resultados de textura da superfície e do tempo de erosão.

Os fenômenos baseados na corrente de trabalho (I_c), interagem de forma que no aumento desta grandeza, aumenta-se o valor da velocidade de erosão. O resultado da média de velocidade diminui conforme o tempo de pausa (T_{off}) aumenta. Isto acontece devido à intensidade da energia ser maior e, consequentemente, o aumento de fluxo de elétrons. Quanto maior o T_{off} é maior o tempo de pausa dentro de um determinado espaço de tempo específico, causando um retardo na evolução da erosão pelo maior atraso no chaveamento para T_{on} .

Para resultados baseados na textura das superfícies das amostras, o aumento da corrente de trabalho leva a valores maiores de rugosidade, para T_{on} na faixa de 21 μs mostrou-se o maior causador do aumento da rugosidade, a separação de pequenos volumes de fase de cerâmica de WC do material de base também é responsável por esse comportamento. O efeito de desprendimento é mais proeminente com o aumento da corrente de descarga, porém, o tempo nessa ordem possivelmente é causador de ressolidificação do material que não foi ejetado da fenda de trabalho. Para tempos de descarga de 11 μs e 31 μs a densidade de energia nessa faixa temporal contribuiu para menores rugosidades.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pela oportunidade e apoio na realização desse trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- F. L. Amorim, W. L. Weingaertner, and I. A. Bassani, "Aspects on the optimization of die-sinking EDM of tungsten carbide-cobalt," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 32, no. spe, pp. 496–502, 2010.
- Klocke, F. et al., Modeling of the Electrochemical Dissolution Process for a Two-phase Material in a Passivating Electrolyte System, *Procedia CIRP*, vol. 58, pp. 169–174, 2017.
- K. H. Ho and S. T. Newman, "State of the art electrical discharge machining (EDM)," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 13, pp. 1287–1300, 2003.
- B. M. Schumacher, "After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 149, no. 1–3, pp. 376–381, 2004.
- König, W. and Klocke, F. *Fertigungsverfahren -3: abtragen und generieren*. Berlin: Springer, 1997. 3 v..
- [6] Niamat, M. et al., "Effect of different dielectrics on material removal rate, electrode wear rate and microstructures in EDM," *Procedia CIRP*, vol. 60, pp. 2–7, 2017.
- [7] INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 4287: Geometrical Product Specifications (GPS) -- Surface texture: Profile method -- Terms, definitions and surface texture parameters. 1 ed. Genebra: Iso, 1997.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

ANALYSIS OF PARAMETERS IN THE REMOVAL OF CARBIDE CEMENTED USING WEDM

Giovani Conrado Carlini, giovani.carlini@gmail.com¹

Fabio Antonio Xavier, f.xavier@ufsc.br¹

Walter Lindolfo Weingaertner, w.l.weingaertner@ufsc.br¹

Hector Di Maiochi, hector.maiochi@gmail.com²

Eduardo Fodi, eduardo.fodi@gmail.com³

¹Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Universitário – Trindade

²Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Rau, Rua dos Imigrantes nº445

³Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville, Perini Business Park

Abstract. *The removal process by WEDM has wide applicability on industry, towards of hard physics conditions on removal and quality requirements on industrial sector, many studies has been realized to contribute on decrease of non-conformities, opportunizing contouring sets in all processes variables, on optimization attempt, continuously, the operation by EDM. Although the physics features of material on study induce on EDM processes, this is done in a very difficult way on WC-Co, because this type of material presents only a portion of its composition as being metallic. This study aimed to understand the input parameters in output variables such as roughness and process efficiency. Different conditions of removal were analyzed, varying the pulse time, pause time and pulse current. The results showed that the pulse current had a great influence on the machining time and influence the roughness.*

Keywords: *Removal, WC-Co, WEDM, Surface Texture*