

ESTUDO COMPARATIVO DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO UTILIZANDO UM ELETRODO ÚNICO E UM CONJUNTO DE ELETRODOS

COBEF2013-0270

Resumo: Este artigo faz parte de um trabalho de proposição de um método para definição estratégica da escolha de um número adequado de eletrodos para operações de eletroerosão por penetração, baseado no custo e na confiabilidade do processo de projetar, fabricar e utilizar eletrodos. A avaliação aqui apresentada baseia-se no custo do material de eletrodos, no tempo de usinagem e na confiabilidade do processo acima citado, para que o mesmo ocorra com um custo e risco identificado. Foram usinadas duas peças-modelo, cuja geometria foi criada especificamente para este estudo, e foi feito um estudo de caso com base em uma peça real usinada anteriormente na ferramentaria onde este estudo foi desenvolvido. Nas três situações, duas alternativas foram comparadas: a erosão com um eletrodo único; e a erosão com um conjunto de eletrodos. Nestas condições e baseando-se nos critérios de análise determinados, a melhor solução foi a se utilizar eletrodos únicos, porém, a ferramenta de análise proposta apresenta-se com potencial para ser utilizada como ferramenta de tomada de decisão em situações semelhantes.

Palavras-chave: Eletroerosão, Eletrodo, Confiabilidade do processo.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, constata-se um crescimento constante na utilização de produtos plásticos. Estes produtos podem ser fabricados por diferentes processos de transformação, tais como moldagem por extrusão, injeção, sopro, termoformagem e rotomoldagem. Dentre estes, o processo de injeção é muito utilizado para produzir componentes mecânicos, devido à sua capacidade de obter formas complexas de um modo rápido, garantindo precisão dimensional.

Segundo Weinert e Guntermann (2000), a fabricação de moldes para fabricação seriada de peças injetadas representa uma das tarefas de usinagem mais exigentes, principalmente no que diz respeito à precisão e à qualidade das superfícies usinadas. Para tanto, os moldes são usualmente produzidos através dos processos de fresamento CNC e de eletroerosão (EDM – *Electrical Discharge Machining*).

A produtividade (volume de material removido por unidade de tempo) do fresamento costuma ser maior em comparação com a EDM. Entretanto os materiais de usinagem difícil, geometrias complexas e de dimensões diminutas, conforme Kratochvil (2004), ainda são quase que exclusivamente processados por eletroerosão na produção de moldes. Conforme Amorim (2002), dentre todas as aplicações do processo de eletroerosão, a fabricação de moldes de Injeção de plásticos e compósitos corresponde a 44%.

A definição de quantos eletrodos utilizar para retirar o volume de material onde a fresa não teve acesso e conseguir a forma ideal do produto, é uma decisão que exerce uma grande influência nos resultados econômicos e de produtividade dos processos. Sendo assim, aparece uma lacuna onde é necessário um método para auxiliar na definição das questões descritas, através da análise das etapas críticas de custo e risco, mapeando e comparando os custos e a confiabilidade do processo de cada ferramentaria, para definição da melhor estratégia de projeto, fabricação do eletrodo e erosão da peça final. Este trabalho apresenta um estudo comparativo da eletroerosão de geometrias utilizando um eletrodo único e um conjunto de eletrodos. Três situações são estudadas, sendo duas com peças-modelo e uma com um caso real. As comparações foram realizadas utilizando-se critérios (8 ao todo) de custo, tempo e qualidade.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1. Materiais

Toda a parte experimental foi realizada na Ferramentaria e no Laboratório de Mecânica de Precisão do Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – SENAI CIMATEC, situado em Salvador, Bahia. Os materiais utilizados foram: grafita especial para aplicação em eletroerosão; aço AISI P20 para fabricação das peças-modelo; Máquina de eletroerosão por penetração CNC modelo SA 20 de fabricação da empresa ACTSPARK.

2.2. Método

Para o desenvolvimento deste estudo comparativo, foi realizada uma análise através da comparação do tempo, do custo e da confiabilidade do processo na fabricação de duas peças-modelo, projetadas exclusivamente para este estudo, e um caso real de um molde de injeção da área de eletro-eletrônica fabricado pela ferramentaria em que este estudo foi desenvolvido. Estes critérios foram utilizados para comparar duas rotas de fabricação de detalhes em moldes de injeção: com um único eletrodo inteiriço e com eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si.

2.2.1. Geometria das peças-modelo

Inicialmente, na elaboração das peças-modelo, buscou-se representar as restrições geométricas normalmente presentes em moldes onde as fresas não conseguem retirar material. Essas restrições estão representadas por uma ilha com ressalto, onde há necessidade de retirar o raio da fresa deixado no canto. A Figura (1) (A) apresenta a peça-modelo 1 após uma simulação de sua usinagem, mostrando no detalhe o raio da fresa que será removido através da eletroerosão. A Figura (1) (B) mostra uma ilustração de como a peça-modelo 1 deve ficar após a erosão.

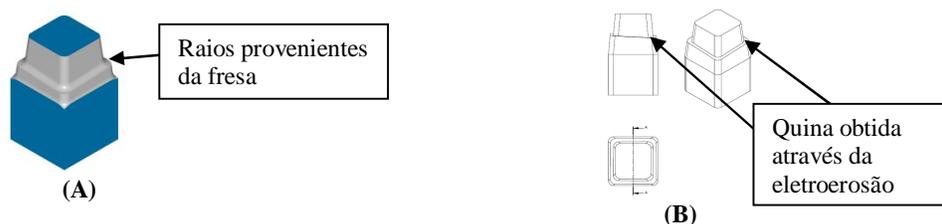


Figura 1. Raios provenientes da fresa no ressalto da peça-modelo 1 (A) e quina obtida por processo de eletroerosão no ressalto da peça-modelo 1 (B).

Para análise e comparação foram modeladas e usinadas 2 peças do modelo 1, denominadas de peça-modelo 1.1 e peça-modelo 1.2, com as dimensões dos lados da base de 30mm; e 2 peças do modelo 2, denominadas de peça-modelo 2.1 e peça-modelo 2.2, com as dimensões dos lados da base de 150mm. A Figura (2) apresenta as peças-modelo.

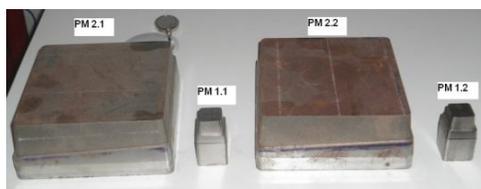


Figura 2. Peças-modelo 1 e Peças-modelo 2.

2.2.2. Setup experimental das peças-modelo 1

Foi utilizado o software de CAD para gerar os 5 eletrodos. O primeiro eletrodo, um único que erode todos os lados da peça-modelo 1.1, conforme mostra a Fig. (3).

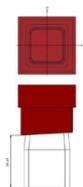


Figura 3. Setup do eletrodo único utilizado na peça-modelo 1.1.

Os outros 4 eletrodos, utilizados para a usinagem da peça-modelo 1.2, são menores, subdivididos e complementares entre si, conforme mostra a Fig. (4).



Figura 4. Setup dos eletrodos menores utilizados na peça-modelo 1.2.

2.2.2.1. Análise dos Tempos

A análise dos tempos foi baseada na usinagem das peças-modelo comparando os tempos em cada etapa do processo.

Após o levantamento dos tempos de cada etapa, foi comparado o processo com um único eletrodo com o processo com quatro eletrodos, tanto para a peça-modelo 1.1 como para a peça-modelo 1.2. A Tabela (1) apresenta a comparação dos tempos das peças-modelo 1.1 e 1.2.

Tabela 1. Levantamento dos tempos para as peças-modelo 1.1 e 1.2.

ETAPAS	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Geração CAD 3D do eletrodo	0:06:00	0:03:00	0:02:00	0:08:00	0:02:00
Setup do eletrodo	0:11:00	0:03:00	0:03:00	0:04:00	0:04:00
Programa de CNC	0:05:00	0:05:00	0:05:00	0:04:00	0:05:00
Simulação do programa eletrodo	0:01:00	0:01:00	0:01:00	0:02:00	0:02:00
Usinagem do eletrodo	2:10:00	1:23:00	0:51:00	0:58:00	0:48:00
Preparação da eletroerosão	0:06:00	0:05:00	0:05:00	0:03:00	0:06:00
Acompanhamento	0:13:46	0:07:00	0:15:52	0:04:35	0:15:00
Erosão da peça	0:06:24	0:03:00	0:04:08	0:02:10	0:02:55
Sub-total Eletrodos Pequenos	NA	1:50:00	1:27:00	1:25:45	1:24:55
Total	2:59:10	6:07:40			

2.2.2.2. Análise de Custos

Para a análise e comparação, os custos foram divididos em custo de material dos eletrodos e custo de fabricação. No custo de material foi comparado o custo do volume do eletrodo único com a soma dos volumes dos quatro eletrodos complementares. A matéria-prima utilizada foi o grafite. A Tabela (2) apresenta a comparação dos custos com matéria-prima dos eletrodos para as peças-modelo 1.1 e 1.2.

Tabela 2. Custo com matéria-prima por eletrodo para as peças-modelo 1.1 e 1.2.

	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Volume	104.832	99.960	117.600	107.800	122.451
Sub Total Eletrodos Pequenos	NA	R\$ 15,78	R\$ 18,57	R\$ 17,02	R\$ 19,33
Total	R\$ 16,55	R\$ 70,70			

A Tabela (3) apresenta o custo com hora-máquina e homem-hora em relação à fabricação dos eletrodos.

Tabela 3. Levantamento de custo HM e HH para peças-modelo 1.1 e 1.2.

CUSTO	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Hora máquina EDM	R\$ 7,47	R\$ 3,50	R\$ 4,82	R\$ 2,53	R\$ 3,40
Hora máquina Centro de Usinagem	R\$ 216,67	R\$ 138,33	R\$ 85,00	R\$ 96,67	R\$ 80,00
Estagiário	R\$ 1,89	R\$ 0,67	R\$ 0,56	R\$ 1,33	R\$ 0,67
Programador	R\$ 5,70	R\$ 5,70	R\$ 5,70	R\$ 5,70	R\$ 6,65
Operador Centro de usinagem	R\$ 65,87	R\$ 42,05	R\$ 25,84	R\$ 29,39	R\$ 24,32
Operador Eletroerosão	R\$ 2,95	R\$ 1,90	R\$ 2,17	R\$ 1,23	R\$ 2,12
Sub-total Eletrodos Pequenos	NA	R\$ 192,15	R\$ 124,09	R\$ 136,84	R\$ 117,16
Total	R\$ 300,53	R\$ 570,24			

2.2.2.3. Análise de Confiabilidade

Para análise de confiabilidade do processo, foi elaborada uma planilha FMEA, visando calcular o número de probabilidade de risco de cada etapa do processo, baseado nas características da ferramentaria utilizada para a realização dos estudos. Os riscos foram levantados em cima dos registros de não-conformidades identificadas no processo. A Tabela (4) apresenta os itens monitorados no desenvolvimento de eletrodos e na usinagem por eletroerosão.

Tabela 4. Etapas do processo e operações incluídas.

Item	Etapas	Operações incluídas
1	Geração CAD 3D do eletrodo	Estudar o produto;
		Analisar na figura onde será necessário utilizar a eletroerosão
		Decidir quantidade de eletrodos
		Extrair os eletrodos
2	Setup do eletrodo	Selecionar pontos de referências
		Selecionar melhor vista para mostrar detalhes a serem erodidos da peça
		Dimensionar o eletrodo
		Gerar <i>setup</i>
3	Gerar programa CNC	Verificar modelamento do produto
		Verificar modelamento do eletrodo
		Selecionar tipos e dimensões de ferramentas
		Elaborar estratégias de usinagem
4	Simular	Simular programa
5	Preparar e usinar eletrodo	Analisar desenho do eletrodo e do setup
		Cortar matéria-prima
		Alinhar/centralizar morsa/dispositivo de fixação
		Fixar matéria-prima
		Fixar ferramenta e checar batimento
		Usinar esquadro
		Puxar o programa CNC e soltar a usinagem
		Fazer a inspeção de qualidade do eletrodo
6	Preparar máquina para erodir	Alinhar e fixar peça a ser erodida
		Alinhar e fixar eletrodo
		Localizar o centro da peça e puxar as coordenadas conforme <i>setup</i>
		Fazer o programa de usinagem
		Instalar o sistema de lavagem conforme a necessidade
		Pintar a área a ser erodida com azul da prússia para servir de referência
		Começar a erosão
		Verificar se a posição está correta
		Erodir
		Verificar possibilidade de melhorar o rendimento da erosão
		No fim da erosão checar concordância com a superfície da figura/Setup em Z

Baseado na Tabela (4) e de acordo com as não-conformidades ocorridas, foi elaborado o FMEA. No FMEA é realizada uma avaliação de severidade, ocorrência e detecção do modo de falha que ocorre em cada etapa. A Tabela(5) apresenta as etapas, retiradas do quadro FMEA, onde ocorrem mais riscos.

Tabela 5. Índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) para os NPR mais elevados.

ETAPAS	MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA	S	O	D	NPR
Preparar e usinar eletrodo	Peça danificada	Geometria do eletrodo fora	O batimento da ferramenta não foi verificado	9	7	6	378
Preparar máquina para erodir	Peça danificada	Erosão fora das coordenadas	O <i>Setup</i> está incorreto?	9	5	6	270
		Erosão fora do esquadro	O eletrodo não está alinhado	9	4	6	216
Gerar CAD 3D do eletrodo	Eletrodo danificado	Usinagem do eletrodo errada	O modelamento matemático do eletrodo não está correto	9	6	3	162

Portanto, a Tab. (5) identifica onde ocorre uma maior possibilidade de risco no processo analisado.

2.2.2.4. Análise comparativa da Peça-modelo 1

A planilha eletrônica a ser utilizada como ferramenta de análise comparativa foi elaborada da seguinte forma:

- São levantados 3 critérios: prazo, qualidade e preço. Estes 3 critérios são subdivididos em outros subcritérios:
 - Prazo: Tempo, Taxa de remoção, e Preparação da máquina;
 - Custo: Custo com material do eletrodo, e Custo de fabricação;
 - Qualidade: Confiabilidade do Processo, Habilidade do operador, e Produto estético/técnico ou comum.
- Aos 3 critérios são dados pesos de 8, 9 e 10, por prioridade. Na avaliação dos itens, comparando eletrodo único com eletrodos particionados, são dadas pontuações da seguinte forma:

P – Pior solução – 1; **B** – Boa solução – 3; **O** – Ótima solução – 5; **I** – Indiferente - 3.

A Tabela (6) apresenta a Ferramenta de análise comparativa.

Tabela 6. Ferramenta de análise comparativa.

	Custo			Prazo				Qualidade				PONTUAÇÃO TOTAL	PONTUAÇÃO RELATIVA	
	Peso: 8			Peso: 9				Peso: 10						
	CUSTO DE MATERIAL	CUSTO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	TEMPO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	TAXA DE REMOÇÃO NA EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	CONFIABILIDADE	HABILIDADE DO OPERADOR	ESTÉTICA/TÉCNICA OU COMUM	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA
ELETRODO ÚNICO														
ELETRODOS PARTICIONADOS														

Com o dimensionamento dos eletrodos modelados no CAD, o setup dos eletrodos e os tempos obtidos das simulações da usinagem dos eletrodos no CAM são avaliados os subcritérios (tempo, custo de material, custo de fabricação, confiabilidade, taxa de remoção, habilidade do operador, produto estético ou comum e, preparação de máquina), realizando assim a comparação do eletrodo único com os eletrodos particionados.

A Tabela (7) apresenta o resultado do experimento das peças-modelo 1.1 e 1.2, onde o custo geral do eletrodo único é de 49% do custo geral dos eletrodos menores.

Tabela 7. Resultado do experimento das peças-modelo 1.1 e 1.2.

Item	Descrição	Peça-modelo 1.1	Peça-modelo 1.2	%
1	Tempo	02:59:10	06:07:40	49%
2	Custo Matéria-prima	R\$ 16,55	R\$ 70,70	23%
3	Custo HM+HH	R\$ 300,53	R\$ 570,24	53%
4	Custo Geral	R\$ 317,08	R\$ 640,94	49%

Com as informações, de tempo, custo, confiabilidade, características geométricas, entre outras, obtidas das peças modelo, e com a utilização da ferramenta de análise chegou-se ao resultado mostrado abaixo na Tab. (8). Os pesos dados para Qualidade, Prazo e Custo foram respectivamente 10, 9 e 8. Estes pesos foram dados baseados na Ferramentaria onde foi realizado o estudo.

O resultado da Tab. (8) mostra que a melhor opção é o eletrodo único, utilizado na peça-modelo 1.1.

Tabela 8. Avaliação do Resultado do experimento (peças-modelo 1.1 e 1.2).

	Custo				Prazo				Qualidade				PONTUAÇÃO TOTAL	PONTUAÇÃO RELATIVA		
	Peso = 8				Peso = 9				Peso = 10							
	CUSTO DE MATERIAL	CUSTO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	TEMPO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	TAXA DE REMOÇÃO NA EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	CONFIABILIDADE	HABILIDADE DO OPERADOR	ESTÉTICA/TÉCNICA OU COMUM			MÉDIA	MÉDIA PONDERADA
PEÇA-MODELO 1.1	5	5	5	40	5	3	5	4,3	39	5	3	3	3,7	37	116	1,00
PEÇA-MODELO 1.2	1	1	1	8	1	5	3	3	27	3	1	3	2,3	23	58	0,50

2.2.3. Setup experimental das peças-modelo 2

O setup das peças-modelo 2 foi semelhante ao das peças-modelo 1, diferindo apenas nas dimensões dos eletrodos que se adequaram às dimensões da peça-modelo 2.

2.2.3.1. Análise dos Tempos

A análise dos tempos foi realizada de modo semelhante às peças-modelo 1.

Após o levantamento dos tempos de cada etapa, foi comparado o processo com um único eletrodo com o processo com quatro eletrodos, tanto para a peça-modelo 2.1 como para a peça-modelo 2.2. A Tabela (9) apresenta a comparação dos tempos das peças-modelos 2.1 e 2.2.

Tabela 9. Levantamento dos tempos para as peças-modelo 2.1 e 2.2.

ETAPAS	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Sub Total Eletrodos Pequenos	NA	5:11:00	4:48:00	5:04:00	4:38:00
Total	15:01:00	19:41:00			

2.2.3.2. Análise de Custos

A Tabela (10) apresenta a comparação dos custos com matéria-prima dos eletrodos para as peças-modelo 2.1 e 2.2.

Tabela 10. Custo com matéria-prima por eletrodo para as peças-modelo 2.1 e 2.2.

	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Volume	2.603.125	448.560	357.000	403.704	322.560
Sub Total Eletrodos Pequenos	NA	R\$ 70,82	R\$ 56,36	R\$ 63,73	R\$ 50,92
Total		R\$ 410,97		R\$ 241,83	

A Tabela (11) apresenta o custo com hora-máquina e homem-hora em relação à fabricação dos eletrodos.

Tabela 11. Levantamento de custo HM e HH para as peças-modelo 2.1 e 2.2.

CUSTO	Peça-Modelo 1.1	Peça-Modelo 1.2			
	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4
Sub Total Eletrodos Pequenos	NA	R\$ 523,95	R\$ 497,45	R\$ 533,73	R\$ 506,71
Total	R\$ 1.723,41	R\$ 2.061,84			

2.2.3.3. Análise de Confiabilidade

A análise de confiabilidade segue o mesmo raciocínio das peças-modelo 1, contemplando as mesmas etapas e os NPR iguais.

2.2.3.4. Análise comparativa da Peça-modelo 2

A Tabela (12) apresenta o resultado do experimento das peças-modelo 2.1 e 2.2, onde o custo geral do eletrodo único é de 93% do custo geral dos eletrodos menores.

Tabela 12. Resultado do experimento das peças-modelo 2.1 e 2.2.

Descrição	Peça-modelo 2.1	Peça-modelo 2.2	%
Custo Geral	R\$ 2.134,38	R\$ 2.303,67	93%

A Tabela (13) apresenta o resultado do experimento utilizando da Ferramenta de tomada de análise comparativa, onde também a melhor opção é o eletrodo único. Porém, a diferença é pequena, devido à avaliação dos itens de custo.

Tabela 13. Avaliação do Resultado do experimento (peças-modelo 2.1 e 2.2).

	Custo Peso = 8				Prazo Peso = 9						Qualidade Peso = 10				PONTUAÇÃO TOTAL	PONTUAÇÃO RELATIVA
	CUSTO DE MATERIAL	CUSTO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	TEMPO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	TAXA DE REMOÇÃO NA EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	CONFIABILIDADE	HABILIDADE DO OPERADOR	ESTÉTICA/TÉCNICA OU COMUM	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA		
PEÇA-MODELO 2.1	1	5	3	24	5	3	5	4,3	39	5	3	3	3,7	37	100	1,00
PEÇA-MODELO 2.2	5	3	4	32	1	5	3	3	27	3	1	3	2,3	23	82	0,83

3. ESTUDO DE CASO

Para estudo de caso foi selecionado um eletrodo utilizado na fabricação de um molde de uma peça de produto eletroeletrônico. Foi comparado um único eletrodo com seis eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si. Nesta validação do método, foram modelados os eletrodos no CAD e os tempos de usinagem baseados no CAM.

3.1. Setup experimental

Foram modelados e definidos um eletrodo único e os seis eletrodos pequenos. A Figura (5) apresenta o eletrodo grande.

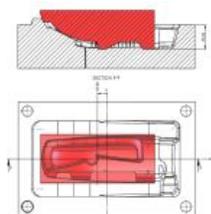


Figura 5. Setup do eletrodo grande.

A Figura (6) apresenta os eletrodos menores.

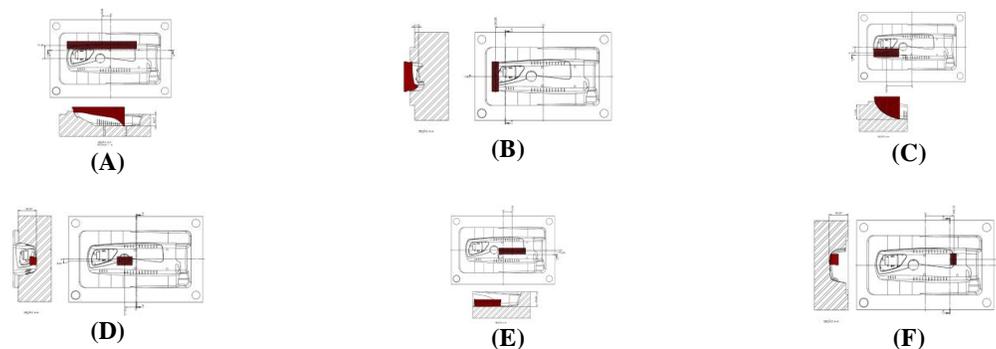


Figura 6. Setup das repartições dos eletrodos menores.

3.1.1. Análise dos tempos

A análise dos tempos foi baseada no tempo estimado pelo CAM comparando os tempos obtidos em cada etapa. A Tabela (14) apresenta as estimativas de tempos de usinagem dos eletrodos.

Tabela 14. Estimativas de simulação CAM do tempo de usinagem dos eletrodos para o estudo de caso.

TEMPO	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4	Eletrodo pequeno 5	Eletrodo pequeno 6
Usinagem do eletrodo	23:30:56	8:22:04	2:41:58	4:30:39	1:00:52	02:02:44	00:49:39
Sub total eletrodos pequenos	NA	8:22:04	2:41:58	4:30:39	1:00:52	2:02:44	0:49:39
Total	23:30:56	19:27:56					

3.1.2. Análise de Custos

A Tabela (15) apresenta a comparação dos custos com matéria-prima dos eletrodos para a peça real.

Tabela 15. Custo com matéria-prima por eletrodo para o estudo de caso.

	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4	Eletrodo pequeno 5	Eletrodo pequeno 6
Volume	20.160.000	3.608.000	619.650	1.876.875	232.650	570.000	382.800
Subtotal do Custo dos eletrodos Pequenos	NA	R\$ 569,61	R\$ 97,83	R\$ 296,31	R\$ 36,73	89,99	60,43
Total	R\$ 3.182,76	R\$ 1.150,90					

A Tabela (16) apresenta o custo com hora-máquina e homem-hora.

Tabela 16. Levantamento de custo HM e HH.

CUSTO	Eletrodo grande	Eletrodo pequeno 1	Eletrodo pequeno 2	Eletrodo pequeno 3	Eletrodo pequeno 4	Eletrodo pequeno 5	Eletrodo pequeno 6
Custo Hora máquina Centro de Usinagem	R\$ 2.351,56	R\$ 836,78	R\$ 269,94	R\$ 451,08	R\$ 101,44	R\$ 0,00	R\$ 82,75
Operador Centro de Usinagem	R\$ 714,87	R\$ 254,38	R\$ 82,06	R\$ 137,13	R\$ 30,84	R\$ 62,18	R\$ 25,16
Subtotal Eletrodos Pequenos	NA	R\$ 1.091,16	R\$ 352,01	R\$ 588,21	R\$ 132,28	R\$ 62,18	R\$ 107,91
Total	R\$ 3.066,43	R\$ 2.333,75					

O custo de hora-máquina e homem-hora os eletrodos pequenos representa 76% do eletrodo grande.

3.1.3. Análise de Confiabilidade

A análise de confiabilidade segue o mesmo raciocínio das peças-modelo 1 e 2, contemplando as mesmas etapas e os NPR iguais.

3.1.4. Estudo Comparativo para o Estudo de Caso

A Tabela (17) apresenta o resultado do experimento da peça do caso real, onde o custo dos eletrodos menores é de 55% em relação ao eletrodo único.

Tabela 17. Síntese dos resultados de tempo e custo para o Estudo de Caso.

Item	Descrição	Eletrodo Único	Eletrodos Menores	%
1	Tempo	23:30:56	19:27:56	83%
2	Custo Matéria prima	R\$ 3.182,76	R\$ 1.150,90	36%
3	Custo HM+HH	R\$ 3.066,43	R\$ 2.333,75	76%
4	Custo Geral	R\$ 6.249,19	R\$ 3.484,65	56%

3.1.5. Análise comparativa

A Tabela (18) apresenta o resultado do experimento utilizando a Ferramenta de Análise, onde o indicado é utilizar a opção do eletrodo único, embora o custo geral dos eletrodos particionados seja 56% do custo do eletrodo único. Foi verificado nesta avaliação, que o peso 10 atribuído ao critério qualidade, impactou bastante no resultado final.

Tabela 18. Avaliação do Estudo de Caso.

	Custo				Prazo					Qualidade					PONTUAÇÃO TOTAL	PONTUAÇÃO RELATIVA
	Peso = 8				Peso = 9					Peso = 10						
	CUSTO DE MATERIAL	CUSTO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	TEMPO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	TAXA DE REMOÇÃO NA EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	CONFIABILIDADE	HABILIDADE DO OPERADOR	ESTÉTICA/TÉCNICA OU COMUM	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA		
ELETRODO ÚNICO	1	1	1	8	3	3	5	3,7	33	5	5	5	5	50	91	1,00
ELETRODOS PARTICIONADOS	5	5	5	40	5	3	1	3	27	1	1	1	1	10	77	0,85

4. CONCLUSÕES

Com este estudo comparativo foi verificado que nas peças-modelo 1 e 2, a solução é o eletrodo único, com menor prazo para execução do processo, melhor custo e com uma confiabilidade garantida.

No caso da peça real, representada pelo estudo de caso, o estudo comparativo indicou que o ideal seria também o eletrodo único. Embora o tempo de obtenção dos eletrodos particionados tenha sido de 17% com relação ao do eletrodo único e o custo geral dos eletrodos particionados de 44% em relação ao eletrodo único, na avaliação dos subcritérios de qualidade, a aprovação do eletrodo único, foi devido às características do produto, e à prioridade maior do critério de qualidade, que pesou bastante no resultado final. Neste tipo de resultado, com uma diferença muito pequena, a experiência do responsável pelo processo, será determinante na escolha do melhor caminho.

Portanto, este estudo comparativo, utilizando a ferramenta de análise comparativa, apresenta, de forma detalhada, rápida e com custo baixo, os vários critérios que influenciam na definição de quantos eletrodos utilizar, facilitando a decisão final do responsável pelo processo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as seguintes empresas e instituições: SENAI CIMATEC e REDE DE FERRAMENTARIA DO SENAI.

6. REFERÊNCIAS

- AMORIM, F., 2002, "Tecnologia de Eletroerosão por Penetração da Liga de Alumínio AMP 8000 e da Liga de Cobre CuBe para Ferramentas de Moldagem de Materiais plásticos". Florianópolis, Brasil, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina.
- KRATOCHVIL, R., 2004, "Fresamento de Acabamento em altas Velocidades de Corte para eletrodo de Grafita Industrial". Florianópolis, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.
- WEINERT, K., GUNTERMANN, G., 2000, "Usinagem de superfícies complexas". Máquinas e Metais, São Paulo, Brasil. n. 411, p. 50-60, abr. 2000.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

COMPARATIVE STUDY OF SINK EDM SETUPS BETWEEN SINGLE ELECTRODE AND A SET OF ELECTRODES

COBEF2013-0270

Abstract: *This article is part of a proposal of a method for strategic definition of the appropriate number of electrodes for a sink EDM process, based on cost and reliability of the whole EDM process chain (design, manufacture and use of the electrode). The presented evaluation is based on the estimated cost of the electrode material, machining time and process reliability. Two model-pieces designed for this test purposes were machined and after it a case study was performed taking as object a real piece formerly machined in the job-shop where this study was developed. In all three cases two process alternatives were compared: machining with one single electrode; and machining with a set of electrodes. For all three cases, based on the defined criteria, the best solution was machining with one single electrode. But the proposed evaluation method shown a good potential to be used as a decision taking tool in similar situations.*

Palavras-chave: *EDM, Electrode, Process reliability.*