



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA
INDUSTRIAL**

SOLANO CRISTOVÃO DA SILVEIRA

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO PARA DEFINIÇÃO
DE LEIAUTE DE ELETRODOS APLICADOS NA FABRICAÇÃO
DE MOLDES DE INJEÇÃO**

Salvador

2012

SOLANO CRISTOVÃO DA SILVEIRA

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO PARA DEFINIÇÃO
DE LEIAUTE DE ELETRODOS APLICADOS NA FABRICAÇÃO
DE MOLDES DE INJEÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Mec. Valter Estevão Beal

Co-orientador: Prof. Dr. Eng. Mec. Guilherme Oliveira
de Souza

Salvador

2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

S587p

Silveira, Solano Cristovão da,

Proposição de método de tomada de decisão para definição de leiaute de eletrodos aplicados na fabricação de moldes de injeção / Solano Cristovão da Silveira. 2012.

113f.

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal

Co-orientador: Prof. Dr. Guilherme Oliveira de Souza.

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial) - Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC, Salvador, 2012.

1. Planejamento de processo. 2. Eletroerosão. 3. FMEA. 4. Molde de injeção.
I. Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC. II. Beal, Valter Estevão. III. Souza, Guilherme Oliveira de. IV. Título.

CDD 629.8

SENAI CIMATEC

Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, leram e recomendam a aprovação da Dissertação de Mestrado, intitulada “Proposição de método de tomada de decisão para definição de leiaute de eletrodos aplicados na fabricação de moldes de injeção”, apresentada no dia 26 de novembro de 2012, como requisito parcial para a obtenção do Título de **Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial**.

Orientador:

Prof. Dr. Eng. Mec. Valter Estevão Beal
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Co-orientador:

Prof. Dr. Eng. Mec. Guilherme Oliveira de Souza
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Membro Interno:

Prof. Dr. Eng. Mec. Alex Álisson Bandeira Santos
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Membro Externo:

Prof. Dr. Eng. Mec. Carlos Henrique Ahrens
Universidade Federal de Santa Catarina

“O Senhor é meu pastor e nada me faltará”.
(Salmo 23, Salmo de David, Bíblia Católica)

Dedico este trabalho a:

**À minha mãe, Ana Maria da Silveira, *in memoriam*,
a primeira orientadora da minha vida.**

**Ao meu pai, Angelo da Silveira,
à minha esposa Avani,
aos meus filhos Cristiano e Arthur.**

**À minha família,
e a todos os meus amigos.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

A minha família, pela compreensão e apoio.

Aos amigos do NIMAtec que sempre me incentivaram.

Ao SENAI CIMATEC pela oportunidade de mestrado na Bahia.

Ao Professor, orientador, colega e amigo Dr. Valter Estevão Beal pela ajuda, orientação e motivação.

Ao Professor, co-orientador, colega e amigo Dr. Guilherme Oliveira de Souza pelas sugestões e apoio.

Aos amigos Marco, Flávio, Robson Borba, Eduardo, Ramildo entre outros da ferramentaria que contribuíram de alguma forma para este trabalho.

Aos professores membros da banca examinadora pelas observações e sugestões realizadas.

A todos aqueles que colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO PARA DEFINIÇÃO DE LEIAUTE DE ELETRODOS APLICADOS NA FABRICAÇÃO DE MOLDES DE INJEÇÃO

Na fabricação de moldes de injeção, as ferramentas utilizadas nas operações de desbaste e acabamento por fresamento, possuem limitações que impossibilitam a finalização da superfície de moldagem no centro de usinagem. Detalhes angulosos, chamados comumente de “cantos vivos”, detalhes com relação altura x largura elevada, com difícil acesso do conjunto fresa-suporte ou material a ser usinado com elevada dureza, tornam necessária a utilização da usinagem por descargas elétricas, EDM (do inglês, *Electrode Discharge Machining*). Durante o processo de definir os detalhes da superfície do molde em que serão necessários eletrodos, surgem dúvidas ao programador de como erodir tais regiões. As dificuldades desta operação são critérios de ordem técnica que afetam a qualidade, o custo e a produtividade do processo. Uma destas incógnitas é a definição se com o uso de um eletrodo para toda a área ou eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si, pode-se atingir maior eficiência no processo produtivo. Este trabalho propõe um método que auxilie na definição deste leiaute de eletrodos, baseado no custo e na confiabilidade do processo de projetar, fabricar e utilizar eletrodos, analisando o menor custo e menor risco de processo. O método baseia-se na estimativa do custo do material do eletrodo e no tempo de usinagem deste eletrodo, estimado com auxílio de um sistema CAM, para que este processo ocorra com custos e riscos identificados. Os resultados obtidos através das análises de tempo, custo e confiabilidade do processo, e com a utilização do método de tomada de decisão, evidenciaram que o método se mostra objetivo, rápido e de baixo custo.

Palavras-chave: Planejamento de processo, eletroerosão, FMEA, molde de injeção.

ABSTRACT

METHOD PROPOSITION FOR DECISION TAKING ELECTRODE LAYOUT APPLIED TO INJECTION MOLDING MANUFACTURING

In the manufacturing of injection molds, the tools used to apply rough and finishing milling operations have limitations that make impossible to finish the molding surface in the machining center. Sharp corners, high height x wide, difficult access of mill-support set or hard materials turn necessary the use of Electrode Discharge Machining, EDM. During the process to define the details that electrodes are needed, doubts arise to the process planner of how to erode these regions. The difficulties of this planning are technical criteria that affect quality, cost and process productivity. One of these doubts is during the layout definition. The question is how is possible to achieve a higher process performance using one large electrode or complimentary small electrodes to erode a mold region. This work propose a method that aids the electrodes layout definition based on costs and reliability to design, manufacture and apply electrodes, aiming low process cost and risk. The method is based on the electrode cost preview for material and for milling time, estimated from CAM software, so that the process can follow with cost and identified risks. The results obtained analyzing time, cost and reliability and the use of a decision taking method have shown that the proposed method is direct, quick and low cost.

Keywords: Process Planning, EDM, FMEA, injection mold.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Segmentação do Mercado de Transformados Plásticos por	15
Figura 2 – Segmentação do Mercado de Transformados Plásticos por	16
Figura 3 – Aplicações do processo de Eletroerosão.	18
Figura 4 – Fluxograma do universo de estudo.	19
Figura 5 – Componentes de um molde de injeção.	24
Figura 6 – (a) Matriz de um molde de injeção, (b) Parte externa do produto, (c) Macho de um molde de injeção e (d) Parte interna do produto.	26
Figura 7 – Identificação do Sistema de Centragem e Guiamento de moldes de injeção.	27
Figura 8 – Elementos do Sistema de Alimentação.	28
Figura 9 – Ventilação pela linha de fechamento.	28
Figura 10 – Identificação do Sistema de Controle de Temperatura de um molde de injeção.	29
Figura 11 – (a) Sistema de Extração antes de ser acionado e.	30
Figura 12 – Fluxograma de trabalho para o desenvolvimento de projeto de moldes de injeção.	31
Figura 13 – Detalhe de uma placa macho com detalhes com canto vivo.	33
Figura 14 – Placa matriz com detalhe de profundidade elevada e largura reduzida.	34
Figura 15 – Placa matriz pré-acabada no processo de fresamento.	34
Figura 16 – Placa matriz acabada no processo de eletroerosão.	35
Figura 17 – Esquema de usinagem por eletroerosão por penetração.	37
Figura 18 – Exemplo de peça erodida por penetração.	37
Figura 19 – Esquema de usinagem por eletroerosão a fio.	38
Figura 20 – Exemplo do processo de erosão a fio.	38
Figura 21 - Evolução da tensão e corrente elétricas durante a descarga de.	40
Figura 22 - Lavagem lateral com vários bicos.	41
Figura 23 - Lavagem por pressão pelo eletrodo.	42
Figura 24 – (a) Eletrodo-peça e (b) eletrodo-ferramenta.	43
Figura 25 - Exemplo de uma planilha FMEA.	51
Figura 26 – Raio obtido pela fresa no ressalto da peça-modelo 1.1 (a) e Canto vivo	59
Figura 27 – Eletrodo único (a) e peça-modelo 1.1 (b).	60

Figura 28 – Peças-modelo 1.1 e 1.2 (metálicas) e conjunto de eletrodos (em grafite escuro).	60
Figura 29 – Peças-modelo 1 e Peças-modelo 2.	61
Figura 30 – Produto da indústria eletroeletrônica.	62
Figura 31 – Fluxo de processos na ferramentaria para projeto e fabricação de moldes.	63
Figura 32 - Peça-modelo 1.	67
Figura 33 – <i>Setup</i> do eletrodo grande utilizado na peça-modelo 1.1.	68
Figura 34 – <i>Setups</i> dos eletrodos particionados 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d) utilizados.	69
Figura 35 - Peça-modelo 2 (lado=150mm).	76
Figura 36 – <i>Setup</i> do eletrodo único utilizado na Peça-modelo 2.1.	77
Figura 37 – <i>Setups</i> dos eletrodos particionados 1 (a), 2 (b), 3 (c) 3 4 (d) utilizados.	78
Figura 38 – Produto real para validação do método.	81
Figura 39 – Eletrodo utilizado.	82
Figura 40 – <i>Setup</i> do Eletrodo único.	82
Figura 41 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 1.	83
Figura 42 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 2.	83
Figura 43 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 3.	83
Figura 44 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 4.	84
Figura 45 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 5.	84
Figura 46 – <i>Setup</i> do Eletrodo particionado 6.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas Funcionais de um Molde de Injeção.	25
Tabela 2 – Processos utilizados na fabricação dos componentes dos moldes	35
Tabela 3 - Descrição da Escala de Ocorrência.	52
Tabela 4 - Descrição da Escala de Severidade.....	53
Tabela 5 - Descrição da Escala de Detecção.....	53
Tabela 6 – Planilha de tomada de decisão.....	57
Tabela 7 – Propriedades da grafita utilizada nos ensaios	64
Tabela 8 - Principais características do Centro de Usinagem Romi Discovery 1250.	65
Tabela 9 - Principais características.....	65
Tabela 10 – Levantamento dos tempos para as peças-modelo 1.1 e 1.2.....	70
Tabela 11 – Custo com matéria prima por eletrodo para as peças-modelo 1.1 e 1.2.	71
Tabela 12 – Levantamento de custo HM e HH para peça-modelo 1.1 e 1.2.....	71
Tabela 13 – Custo geral dos eletrodos para as peças-modelo 1.1 e 1.2.....	72
Tabela 14 – Etapas do processo e operações incluídas.	72
Tabela 15 – Quadro FMEA.....	73
Tabela 16 – NPR mais elevados.	75
Tabela 17 – Levantamento de tempo para peças-modelo 2.1 e 2.2	79
Tabela 18 – Custo com matéria prima dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2..	79
Tabela 19 – Levantamento de custo dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2	80
Tabela 20 – Custo geral dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2	80
Tabela 21 – Tabela dos Tempos de Fabricação dos eletrodos para peça real.....	85
Tabela 22 – Custo com matéria prima dos eletrodos para peça real	85
Tabela 23 – Levantamento de custo HM e HH.....	86
Tabela 24 – Custo geral dos eletrodos (HM, HH e Matéria prima)	86
Tabela 25 – Resultado do experimento das peças-modelo 1.1 e 1.2.....	87
Tabela 26– Resultado do experimento das peças-modelo 2.1 e 2.2.....	87
Tabela 27 – Resultado do estudo de caso	87
Tabela 28 – Avaliação do resultado do experimento (Peças-Modelo 1.1 e 1.2).....	88
Tabela 29 – Avaliação do Resultado do experimento (Peças-Modelo 2.1 e 2.2)	89
Tabela 30 – Avaliação do Resultado do estudo de caso (Peça Real).....	90

SUMÁRIO

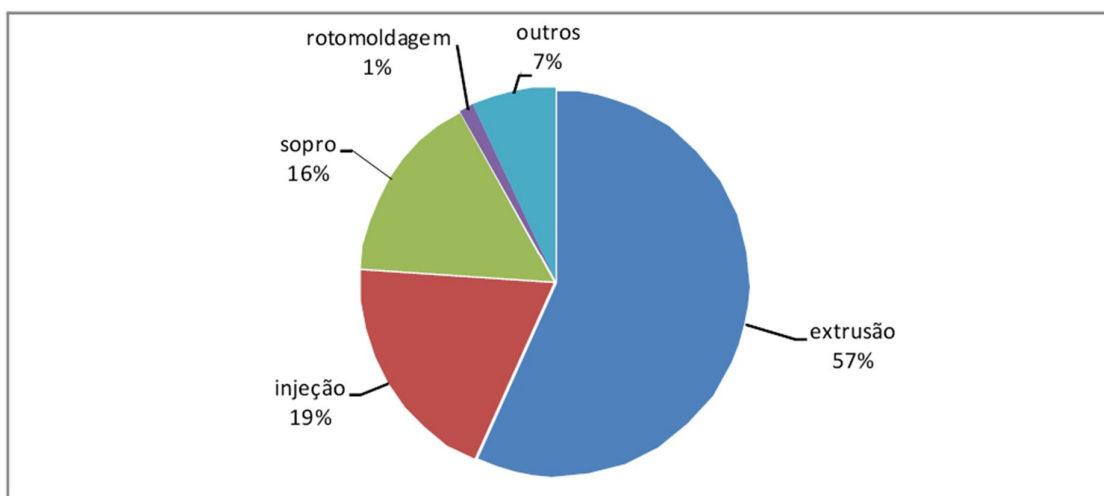
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo	20
1.2	Limites e Limitações	20
1.3	Organização da Dissertação de Mestrado	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Moldagem por Injeção de Termoplásticos	22
2.2	Molde para Injeção de Plásticos	23
2.2.1	Funções dos Sistemas do Molde	24
2.2.2	Projeto e Fabricação de Moldes de Injeção	30
2.3	Eletroerosão	36
2.3.1	Princípio de Funcionamento	39
2.3.2	Influência da Lavagem dos Produtos Erodidos	41
2.3.3	Eletrodo	43
2.3.4	Influência do Material do Eletrodo-Ferramenta e Eletrodo-Peça	46
2.4	FMEA	47
2.4.1	Tipos de FMEA	48
2.4.2	Metodologia do FMEA	49
2.4.3	Princípios Básicos do FMEA	50
2.5	Considerações Finais	54
3	MÉTODOS E MATERIAIS	55
3.1	Métodos	55
3.1.1	Geometria de Estudo para Realização dos Experimentos	59
3.1.2	Estudo de Caso	61
3.1.3	Fluxo de Processo do Estudo	62
3.2	Materiais	64
3.2.1	Materiais para Realização dos Experimentos	64
3.2.2	Equipamentos para Realização dos Experimentos	64
3.2.3	<i>Softwares</i> para Realização dos Experimentos	66
4	EXPERIMENTOS E ESTUDO DE CASO	67
4.1	Peça-Modelo 1	67
4.1.1	Seqüenciamento	68
4.1.2	Resultados obtidos	70

4.2	Peça-Modelo 2	76
4.2.1	Sequenciamento	77
4.2.2	Resultados obtidos	78
4.3	Estudo de Caso.....	81
4.3.1	Sequenciamento.....	81
4.3.2	Resultados Obtidos	85
4.4	Resumo dos Resultados	87
5	APLICAÇÃO DO MÉTODO NOS EXPERIMENTOS E NO ESTUDO DE CASO 88	
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA	91
6.1	CONCLUSÕES	91
6.2	Sugestões para futuras investigações.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94
	ANEXO - PESQUISA DE CAMPO - REDE DE FERRAMENTARIA DO SENAI.....	100
	APÊNDICE – RESULTADO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	109

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 e rotomoldagem, entre outros. O Brasil produziu quase 6 milhões de toneladas de produtos transformados plásticos em 2010 e o faturamento deste setor foi de aproximadamente 44 bilhões de reais, segundo a ABIPLAST. Atualmente, a moldagem por injeção de produtos plásticos corresponde a 19% do total de todos os processos empregados, conforme apresentado na Figura 1 (ABIPLAST, 2010).

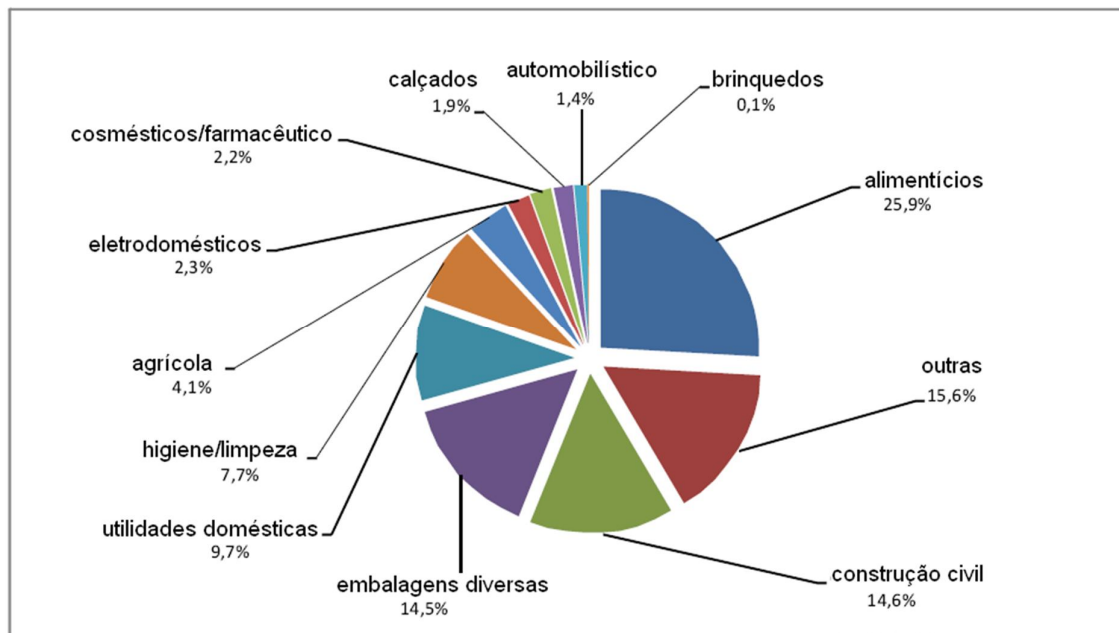
Figura 1 – Segmentação do Mercado de Transformados Plásticos por Processo de Produção.



Fonte: ABIPLAST (2010).

A Figura 2 mostra a segmentação destes produtos transformados por aplicação. Entre os produtos produzidos anualmente, mais de 1 milhão de toneladas são fabricadas pelo processo de moldagem por injeção e seu faturamento foi de aproximadamente 8 bilhões de reais em 2010.

Figura 2 – Segmentação do Mercado de Transformados Plásticos por Aplicação.



Fonte: ABIPLAST (2010).

A moldagem por injeção é um processo de fabricação que consiste, basicamente, na entrada forçada do material fundido, após ter sido amolecido em um cilindro aquecido, na cavidade de um molde relativamente frio, onde baixando a sua temperatura, endurece e toma sua forma final. O produto moldado é então extraído através do sistema de extração. Segundo Todd, Allen e Alting (1994):

Este processo é usado devido à sua rapidez, diferentes tipos e quantidade de peças que podem ser obtidas e precisão dimensional. Neste processo fabricam-se desde pequenas peças sem requisitos funcionais, até peças que necessitam de precisão dimensional e características funcionais elevadas. Também são injetados desde peças pequenas, tipo conector elétrico pesando 0,3gr, até peças grandes como container pesando mais de 50kg.

O molde de injeção é, junto com a máquina, o elemento de maior importância na obtenção de peças plásticas injetadas e, portanto, o domínio tecnológico de sua fabricação é estratégico para a economia de países que desejam fortalecer sua indústria de produtos manufaturados.

A China se tornou em 2010 o terceiro maior parque produtor de moldes e ferramentas do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos e do Japão. Segundo Carvalho (2010):

Estima-se, hoje, a existência de 6 mil ferramentarias em atividade na China, que faturam cerca de US\$ 17 bilhões brutos e empregam mais de 417 mil trabalhadores diretos”. Isto aconteceu porque os chineses posicionam as ferramentarias como um setor estratégico, concedendo prioridade às suas atividades, incluindo aquelas previstas nos planos de desenvolvimento, além de investir de forma intensiva na formação de mão de obra, com a criação de ferramentarias-escolas e a promoção de intercâmbio tecnológico obrigatório para as empresas estrangeiras que resolvem se instalar lá.

No Brasil, os fabricantes nacionais de moldes de injeção, são empresas de pequeno porte, pessoas jurídicas com receita bruta anual entre 240 mil e 1,2 milhão de reais conforme dados do Ministério da Fazenda do Brasil, e fabricam moldes para empresas maiores que atuam nos segmentos: automobilístico, eletrodoméstico, bens de consumo, construção civil, dentre outros, que produzem produtos de forma seriada. As ferramentarias são caracterizadas principalmente pelo sistema de produção sob encomenda, além de exigir profissionais com elevada qualificação, equipamentos, máquinas, software e hardware sofisticados (GAMA, 2009).

Neste sistema de produção sob encomenda, o grande desafio das ferramentarias é melhorar seu desempenho competitivo, como fabricação de produtos sem erros, entregas confiáveis e rápidas ao cliente, habilidade de introduzir novos produtos em prazos adequados, oferecimento de uma variedade de produtos para satisfazer as exigências dos consumidores, durabilidade e custo de manutenção baixa. Porém, estas empresas apresentam defasagens tecnológicas e organizacionais em relação aos principais produtores mundiais de moldes. A baixa capacidade competitiva e tecnológica das ferramentarias nacionais está refletida nos elevados preços e prazos de entrega dos moldes em relação àqueles praticados no mercado internacional e, sua balança comercial, sistematicamente deficitária (RESENDE e GOMES, 2003).

Portanto, é fundamental que as ferramentarias, para manterem-se competitivas, orientem seus recursos e funções para atingir elevados índices de pontualidade nas entregas e conformidade nas especificações (DIHLMANN e VALLEJOS, 2001).

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

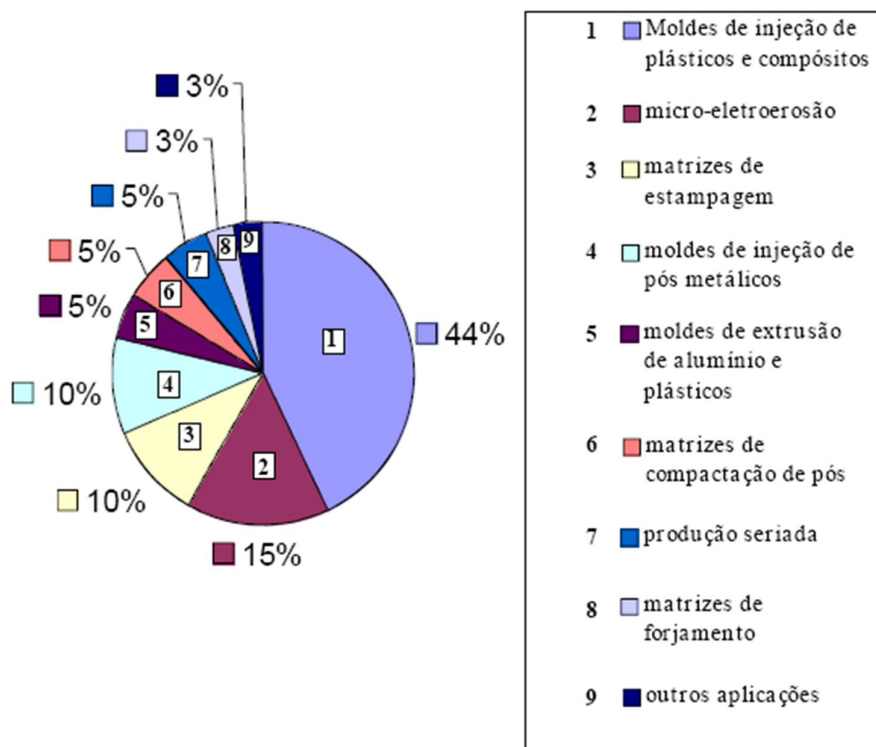
são usualmente produzidos através dos processos de fresamento CNC e de eletroerosão (WEINERT e GUNTERMANN, 2000).

Estes dois processos têm importância complementar nesta cadeia. O fresamento CNC é empregado para dar a forma global às regiões do molde onde será gerado o produto, com uma produtividade economicamente viável, enquanto que a EDM (*Electrical Discharge Machining* - Eletroerosão) é utilizada para a geração de detalhes cuja complexidade inviabilizaria, ou até impossibilitaria o uso do fresamento CNC. Os materiais de usinagem difícil, geometrias complexas e de dimensões diminutas ainda são quase que exclusivamente processados por eletroerosão na produção de moldes (KRATOCHVIL, 2004). Amorim (2002) cita que:

O processo de eletroerosão é amplamente utilizado na indústria de ferramentaria na confecção de características geométricas de difícil usinagem, como, por exemplo, cavidades estreitas e profundas, ranhuras de paredes finas e altas e pequenos raios de canto.

Este processo tem tanta importância para a fabricação de moldes de injeção que esta aplicação corresponde a 44% do total das aplicações da eletroerosão na indústria. A Figura 3 mostra as aplicações do processo EDM.

Figura 3 – Aplicações do processo de Eletroerosão.



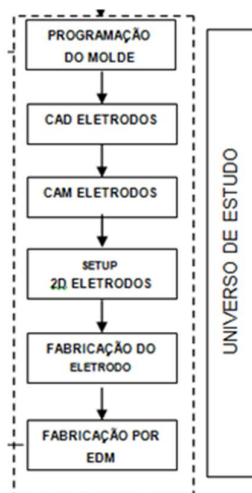
Fonte: AMORIM (2002).

Considerando os aspectos citados anteriormente, a definição de quantos eletrodos utilizar para retirar o volume de material onde a fresa não teve acesso e conseguir a forma do produto, é uma decisão que exerce uma grande influência nos resultados do processo. Esta influência vai desde os aspectos econômicos e de produtividade até os de atendimento aos requisitos de qualidade superficial e tolerância exigida em projeto.

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, poderá contribuir significativamente para o aumento da competitividade das indústrias do setor.

O universo de estudo deste trabalho, é apresentada na Figura 4. Neste fluxograma, é destacado o processo de programação do molde, para ser definido o que será usinado através do fresamento CNC e em quais detalhes serão necessários utilizar o processo de eletroerosão. No processo de eletroerosão são “Projetados em CAD 3D” os eletrodos, programados os caminhos da ferramenta para fabricação dos eletrodos no CAM, elaborado o setup dos eletrodos e, enfim, a peça é erodida.

Figura 4 – Fluxograma do universo de estudo.



Fonte: Próprio Autor.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é propor um método de tomada de decisão que auxilie no planejamento do projeto dos eletrodos para emprego na fabricação de moldes de injeção.

Para conseguir o objetivo geral são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um método de estimativa de custos e de tempo, estabelecendo critérios de análise e comparação e definição de leiaute do eletrodo;
- Verificar a confiabilidade do processo de planejamento e execução do eletrodo, visando detectar os riscos entre as etapas.

1.2 Limites e Limitações

Este trabalho apresenta os seguintes limites e limitações:

- O método foi aplicado em apenas um tipo de situação, para eletroerodir as regiões deixadas pelos raios da fresa esférica ao redor de uma peça tipo ilha;
- Os tempos de usinagem para cada ferramenta são estimados utilizando apenas as estratégias de corte disponíveis no sistema CAD/CAM;
- O mapeamento, utilizando o FMEA, dos dados dos riscos nas etapas de projeto, fabricação e utilização do eletrodo foram realizados em apenas uma ferramentaria.

1.3 Organização da Dissertação de Mestrado

Essa dissertação foi organizada em cinco capítulos, além desta introdução.

No Capítulo 2 é apresentada a Revisão Bibliográfica com os conceitos de moldagem, de máquinas injetoras, de molde para injeção de plástico, do processo de Eletroerosão e FMEA.

No Capítulo 3 estão descritos os recursos utilizados e as etapas seguidas para o desenvolvimento do método. Na primeira parte são apresentadas as etapas para o desenvolvimento do método. Em seguida, são apresentados os recursos

utilizados para a execução dos experimentos e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do método.

No Capítulo 4 são apresentados as peças modelo e o caso real de aplicação do método e quais os resultados obtidos. Primeiro o método é aplicado em dois produtos definidos com características semelhantes, mas com dimensões diferentes. Depois o método é aplicado em uma peça de plástico com características de peça técnica e estética com o objetivo de avaliar a possibilidade de erodir com um ou vários eletrodos, comparando custo, confiabilidade e tempo de usinagem dos eletrodos.

No Capítulo 5 é descrita a aplicação da ferramenta de tomada de decisão nos estudos de caso.

Finalmente, no Capítulo 6 são discutidos os resultados e benefícios obtidos com a aplicação do método, bem como identificados os pontos de melhoria e, em seguida, sugestões de novas pesquisas e trabalhos relacionados com o planejamento da fabricação de cavidades de molde de injeção e de processos de fabricação em geral.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda inicialmente algumas considerações sobre a moldagem por injeção de termoplásticos, destacando as vantagens de sua utilização. Na sequência, é apresentada uma descrição das máquinas injetoras e uma descrição do molde de injeção de plásticos, seguida pela apresentação dos fundamentos do processo de eletroerosão e finalmente, é apresentado o método FMEA.

2.1 Moldagem por Injeção de Termoplásticos

O processo de moldagem por injeção foi patenteado em 1872 pelos irmãos John e Isiah Hyatt. Ao longo do século XX teve uma grande evolução cujos principais marcos foram a máquina hidráulica, inventada nos anos 40, a máquina de parafuso alternativo, em 1951 e a máquina elétrica em 1988 (GARCIA, 2008).

A moldagem por injeção é um processo cíclico de transformação de termoplásticos e abrange as seguintes etapas:

- Aquecimento e fusão da resina;
- Homogeneização do material fundido;
- Injeção no interior da cavidade do molde;
- Resfriamento e solidificação do material na cavidade;
- Ejeção da peça moldada.

O processo de moldagem por injeção de termoplástico apresenta as seguintes vantagens:

- produção de peças de dimensões variadas;
- baixo custo de mão de obra;
- peças produzidas com altas taxas de produtividade;
- o processo pode ser automatizado;
- peças requerem pouco ou nenhum acabamento;
- as peças podem ser moldadas com insertos metálicos.

Em contra partida, o processo de moldagem por injeção de termoplástico tem as seguintes desvantagens:

- os moldes de injeção são muito caros;
- comcorrência acirrada oferece margem de lucro baixa;

- mão de obra com falta de conhecimento dos fundamentos do processo causam problemas;
- a qualidade das peças é difícil de ser determinada imediatamente.

Mais informações a respeito do processo de moldagem por injeção podem ser encontradas nas seguintes referências: Garcia (2008), Bareta (2007), Telles (2007) e Thomazi (2002).

2.2 Molde para Injeção de Plásticos

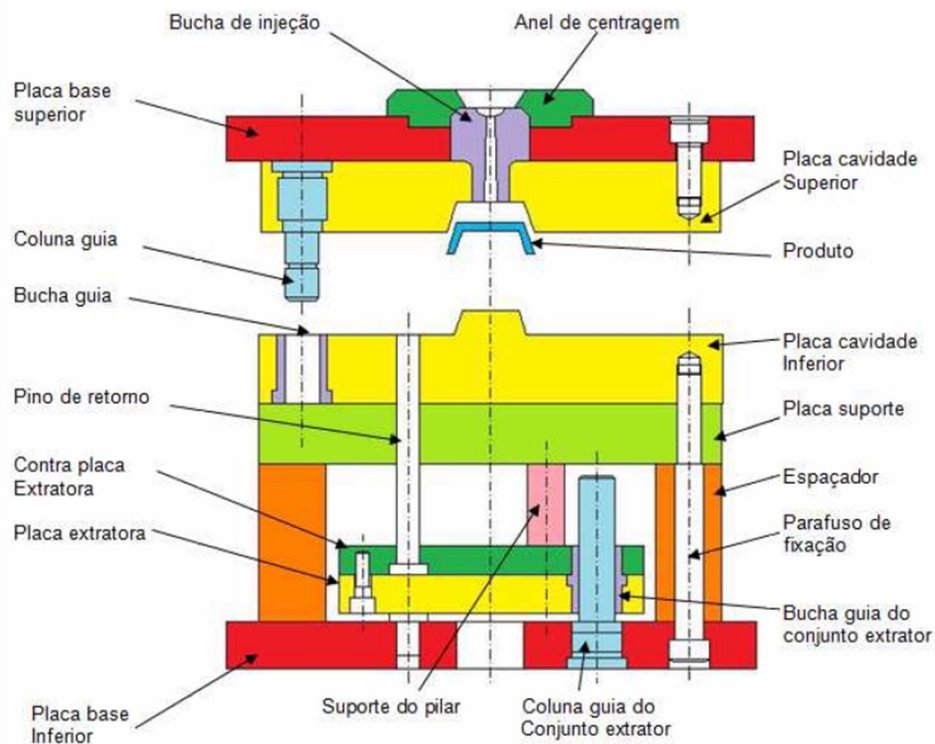
Para que o processo de moldagem aconteça, é necessário, além da máquina injetora, o molde de injeção. O molde de injeção é um componente do processo de injeção, que não pertence a injetora mas, para cada produto é necessário um molde diferente.

Os primeiros moldes de injeção foram concebidos ainda no século XIX, quando os irmãos Hyatt, nos Estados Unidos, patentearam a primeira máquina de injeção. Hoje, moldes de injeção são amplamente difundidos no processamento de polímeros. Dias (2008) cita o seguinte:

O molde é um sistema mecânico em forma de bloco, usualmente construído em aço ou alumínio, bi ou tripartido, cuja função é conter uma cavidade que receberá o termoplástico fundido, dando forma a uma determinada peça. O molde é colocado na máquina de injeção e recebe, em sua cavidade, o material fundido, que é levado para o seu interior por pressão exercida pela mesma. Desta forma, um molde pode ser considerado como uma estrutura (placas de aço usinadas, pinos, buchas, e vários outros itens), onde são montados de acordo com o projeto elaborado dos sistemas funcionais, que permitem que o molde cumpra as suas funções.

Uma representação geral de um molde de injeção e seus principais componentes são mostrados na Figura 5 e estes serão detalhados na sequência, após a figura.

Figura 5 – Componentes de um molde de injeção.



Fonte. HARADA (2004).

2.2.1 Funções dos Sistemas do Molde

Por se tratar de um sistema mecânico, de relativa complexidade, que deve cumprir diversas subfunções para realizar de maneira eficaz a função principal, que é moldar peças plásticas, os moldes são divididos em subsistemas, ou sistemas funcionais, que têm como objetivo realizar estas subfunções. Os principais sistemas funcionais de moldes de injeção são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Sistemas Funcionais de um Molde de Injeção.

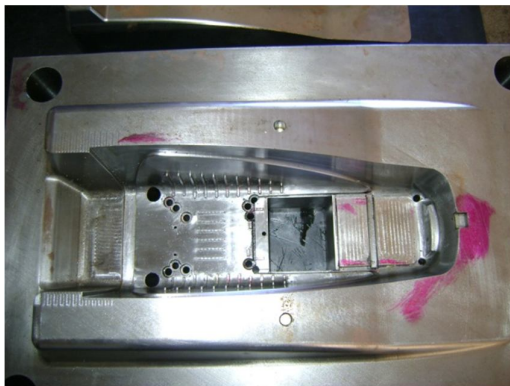
Funções do Molde de Injeção	Sistema do Molde de Injeção
Dar forma, tamanho e acabamento à peça moldada. Postiços ou macho são elementos que dão a forma interna do produto e Cavidades ou fêmeas, são elementos que dão a forma externa do produto.	Cavidade (ou Figura)
Manter o alinhamento entre as duas metades do molde, assegurando a centralização entre o conjunto fixo e o conjunto móvel, garantindo assim a espessura constante da peça.	Centragem e Guiamento
Conduzir o material plástico fundido desde o bico de injeção da máquina injetora até a cavidade do molde, num percurso mais curto possível, garantindo a chegada a todos os pontos de injeção, com a mesma pressão e temperatura.	Alimentação
Permite que o ar e gases existentes nas cavidades moldantes possa sair, possibilitando o seu enchimento com o material plástico fundido	Ventilação
Controla a temperatura do molde para solidificar o material fundido injetado	Controle de Temperatura
Permite fazer a extração das peças de maneira uniforme, de forma suave e sem distorções	Extração

Fonte: TONOLLI, ARAÚJO *apud* DIAS (2008).

Cavidades

A função da cavidade é moldar o plástico fundido para dar forma, dimensões e acabamento ao produto. A cavidade, também chamada de figura, normalmente é composta de duas placas: placa matriz, que dá o formato externo à peça injetada (na maioria dos projetos, fica preso à placa fixa da máquina injetora), placa macho, ou núcleo, que dá o formato da parte interna do produto (normalmente fica na parte móvel do molde, para facilitar a etapa de extração). A Figura 6 (a) mostra uma placa matriz, a Figura 6 (b) mostra a parte externa do produto, a Figura 6 (c) mostra uma placa macho e a Figura 6 (d) mostra a parte interna do produto.

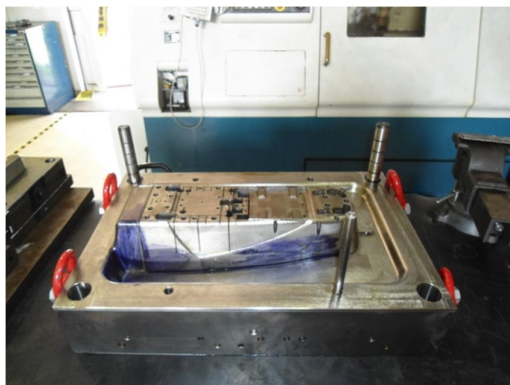
Figura 6 – (a) Matriz de um molde de injeção, (b) Parte externa do produto, (c) Macho de um molde de injeção e (d) Parte interna do produto.



(a)



(b)



(c)



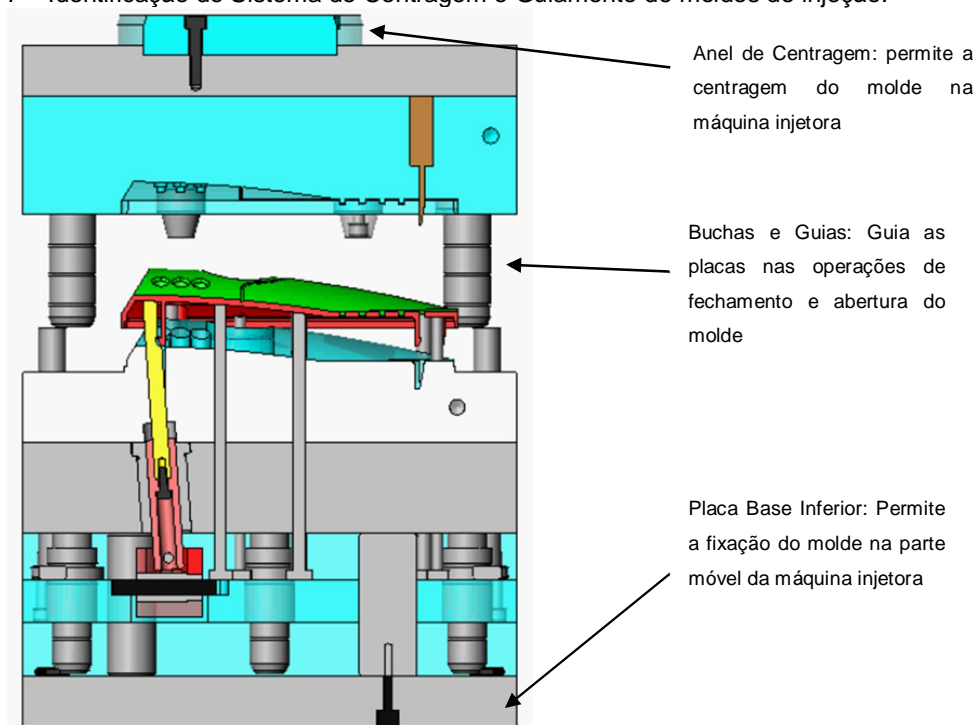
(d)

Fonte: Próprio Autor.

Centragem e Guiamento

O sistema de centragem e guiamento é o sistema que permite montar o molde na máquina injetora e ajustar as duas (ou mais) partes do molde, garantindo a reprodutibilidade dimensional da peça. O alinhamento das duas metades é fundamental, para garantir que a peça saia com a espessura constante. O sistema de centragem e guiamento é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Identificação do Sistema de Centragem e Guiamento de moldes de injeção.

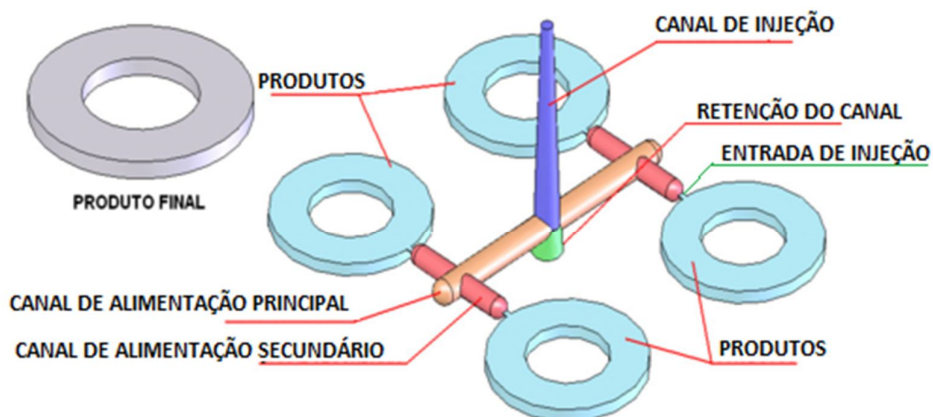


Fonte: Próprio Autor.

Sistema de Alimentação

O fornecimento do material plástico às cavidades do molde é feito pelo bico do cilindro da unidade de injeção da máquina, através da bucha de injeção, que direciona o fluxo de material para os canais de distribuição e destes para as cavidades do molde, através dos pontos de injeção (DIAS, 2008). A Figura 8 apresenta os elementos de um sistema de alimentação.

Figura 8 – Elementos do Sistema de Alimentação.



Fonte: THOMAZI (2002).

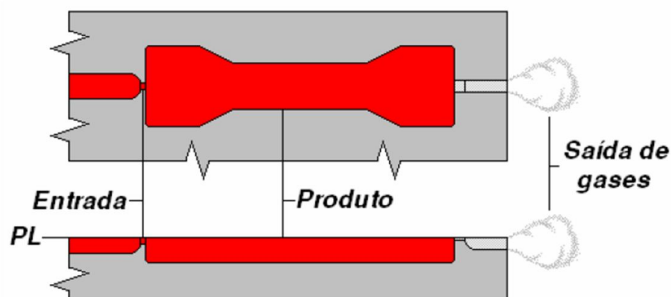
Sistema de Ventilação

Esse sistema permite que o ar existente nas cavidades possa sair, possibilitando o seu preenchimento com o material plástico fundido. Dias (2008) cita o seguinte:

Durante o enchimento do molde cada cavidade deve ser ventilada adequadamente para permitir a saída do ar e escape dos gases. A retenção desses gases, ou saídas ineficientes mal localizadas, prejudicam o adequado funcionamento do molde, podendo resultar em um mal preenchimento do molde, linhas de solda e marcas de degradação do plástico. Normalmente o ar pode escapar pelo plano de fechamento do molde, porém, devido à elevada precisão de ajustamento entre as duas partes do molde, o escape de gases por este plano não é eficiente.

A Figura 9 apresenta a ventilação pela linha de fechamento.

Figura 9 – Ventilação pela linha de fechamento



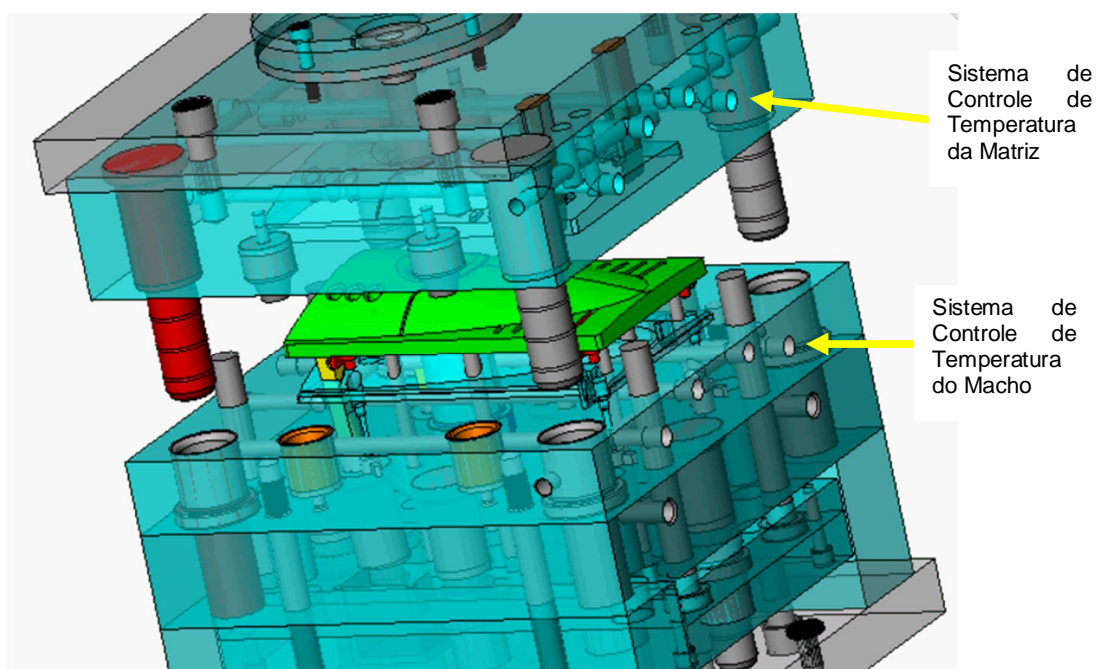
Fonte. D-M-E PLASTICS UNIVERSITY apud DIAS (2008).

Sendo assim, é necessário para resolver este problema, prover pequenas aberturas para facilitar a saída dos gases. A colocação de postiços e extratores também facilita a saída de ar, devido à folga existente. Ainda pode-se optar pela utilização de materiais especiais, como, por exemplo, o aço poroso. O aço poroso tem como característica microporosidade uniforme presente em sua composição física, que permite a extração do ar e gases por toda a superfície do molde, eliminando assim os defeitos relacionados aos gases.

Sistema de Controle de Temperatura

O sistema de controle de temperatura é formado por canais interconectados, que atravessam os blocos de aço da matriz e do macho, onde são conectadas às mangueiras por aonde o fluido, vindo da estação de resfriamento de água, faz a troca de calor com o molde. Este sistema influencia bastante na produtividade do molde, devido ao controle no processo de solidificação das peças, que na maioria dos casos, é a fase mais longa do ciclo de injeção. O esfriamento do material plástico quente injetado é feito por condução para o material do molde através das superfícies da placa matriz e da placa macho. A Figura 10 mostra o sistema de controle de temperatura.

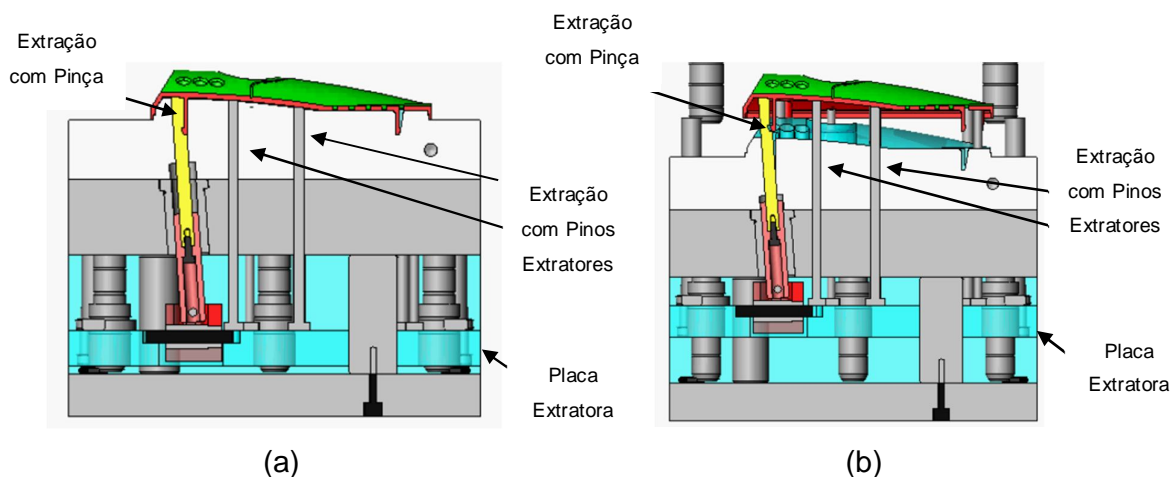
Figura 10 – Identificação do Sistema de Controle de Temperatura de um molde de injeção.



Sistema de Extração

Na última fase do processo de moldagem, a máquina injetora abre o molde e a peça é extraída de seu interior. O projeto deve prever que, após a abertura do molde, dependendo das características do produto, a peça possa cair por gravidade. Contudo, devido à contração, adesão e às contra-saídas, a peça tende a ficar presa no molde (DIAS *apud* ARAÚJO *et al*, 2008), sendo necessário o acionamento do sistema de extração para empurrar as peças, recém moldadas, para fora do molde. A Figura 11 (a) e (b) mostram o princípio de funcionamento dos pinos extratores e das pinças.

Figura 11 – (a) Sistema de Extração antes de ser acionado e (b) Sistema de Extração após de ser acionado.



Fonte: Próprio Autor.

Peças com formas mais complexas e detalhes em direções variadas, podem precisar de sistemas mais complexos de extração, como por exemplo, gavetas e núcleos rotativos.

Informações mais aprofundadas a respeito dos sistemas de um molde de injeção, assim como de suas funções e composição, podem ser encontradas nos seguintes trabalhos: Dias (2008), Saccheli (2007), Garcia (2008) e Gama (2009).

2.2.2 Projeto e Fabricação de Moldes de Injeção

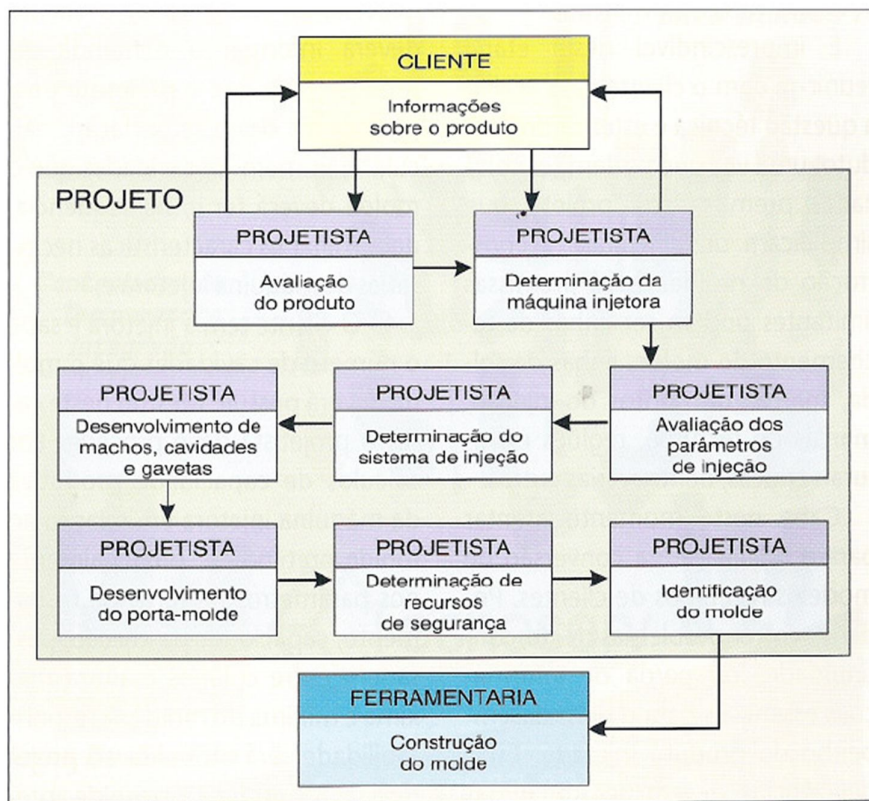
No projeto do molde, o estudo inicial se dá baseado em massa, dimensões e, forma da peça e no tamanho e na capacidade da máquina em que será realizada a

injeção. Assim pode-se definir localização e quantidade de cavidades, o local mais adequado para o canal de injeção, sistema de extração, refrigeração, necessidade de roscas, gavetas, entre outros sistemas funcionais. Harada (2004) cita o seguinte:

Todos estes fatores estão interligados com o tamanho e a massa do objeto moldado, limitando o número de cavidades e determinando também a capacidade necessária da máquina. As dimensões das placas, por exemplo, limitam o número de cavidades de um molde. A face de abertura do molde, ou seja, a linha de separação entre as duas metades do molde, normalmente, a linha de separação das metades de um molde deixa marca, portanto, a linha de abertura deve ocorrer em uma parte em que o visual da peça seja funcional e aceitável. A linha de separação deve dividir o molde de maneira que facilite a usinagem das peças da forma mais simples possível. A definição da linha de separação deve facilitar a extração da peça e o molde aberto precisa ser facilmente acessível pelo operador da máquina injetora.

O molde é um item crucial no processo de injeção, por isso seu projeto é determinante para se obter um produto de qualidade e item decisivo no custo do projeto. A Figura 12 apresenta o fluxograma de trabalho para desenvolvimento de projeto de molde de injeção.

Figura 12 – Fluxograma de trabalho para o desenvolvimento de projeto de moldes de injeção.



Fonte: HARADA (2006).

Durante a avaliação do produto, o projetista já inicia o pré-projeto do molde que tem como intuito o desenvolvimento de um leiaute otimizado para o produto e o princípio de funcionamento do molde, verificando se o mesmo terá gavetas, câmara quente, entre outros acessórios, procurando a otimização do molde, de acordo com critérios técnicos e econômicos. Definem-se, nessa fase, as principais dimensões do molde, materiais e processos de fabricação.

Sacchelli (2007) cita o seguinte:

O projeto preliminar caracteriza-se por apresentar recomendações gerais e detalhadas para a especificação preliminar dos valores das variáveis de projeto dos componentes do molde e dos sistemas de alimentação, refrigeração, extração e saída de gases. Apresenta-se importante, pois, essa especificação é realizada em grande parte de forma subjetiva, prejudicando assim possíveis melhoras em relação ao desempenho do molde. Um potencial problema na fase de fabricação constatado na pesquisa é o de retrabalho devido a erros de projeto. Assim, a importância do projeto preliminar também reside em melhor especificar dimensões, tolerâncias, acabamentos e outros valores de variáveis que influenciam nos trabalhos de fabricação do molde, evitando-se o retrabalho.

Por fim, no projeto 3D procura-se finalizar o projeto, verificando-se todas as soluções geradas, concluindo os desenhos dos componentes, de montagem e documentações de dimensionamento, para a liberação do produto à fabricação. As placas cavidades, macho e matriz, são direcionados para a programação CAM e as outras placas são direcionadas para o detalhamento 2D do molde para depois seguirem para a fabricação.

Com o projeto 3D do molde aprovado, as placas cavidade, macho e matriz, serão enviados para os processistas para avaliação e planejamento do processo de fabricação. Fallbohmer (1996) conclui que mais de 60% do tempo de fabricação de um molde ou uma matriz é consumido na obtenção das partes funcionais, as quais incluem superfícies complexas. Em termos de custo total de produção, a maior parcela é representada pela usinagem, cerca de 65% do custo total (Sandvik, 2001).

Desta forma, no interior do fluxo dos processos de fabricação, desde o desenho até a inspeção final, o grande gargalo está sem dúvida na etapa de usinagem (MACHADO e RAMOS, 2005).

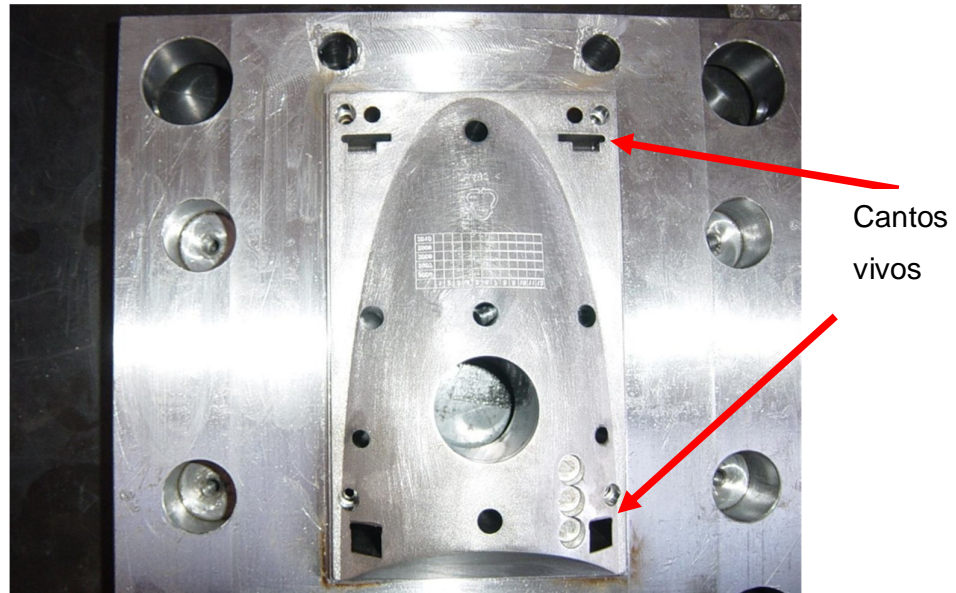
No processo de usinagem, a fabricação das placas que conterão a figura requer do processista um estudo detalhado do modelo do produto, visando planejar

as etapas necessárias para a obtenção da forma final do molde. Ou seja, quantas operações de desbaste, redesbaste, pré-acabamento e acabamento serão necessárias, qual será sua sequência e como estas deverão ser realizadas. Após o planejamento da usinagem, utilizando o fresamento CNC, é necessário definir quais e quantos eletrodos serão necessários para retirar o restante do material que com a fresa, de diâmetro menor, não é possível de ser usinado devido às características geométricas do produto.

Algumas situações onde o processista utiliza o processo de eletroerosão são:

- Quando é necessário um canto vivo interno no produto. A Figura 13 apresenta uma situação de canto vivo interno.

Figura 13 – Detalhe de uma placa macho com detalhes com canto vivo.



Fonte: Próprio Autor.

- Quando algum detalhe no molde apresenta uma alta relação profundidade x largura, como exemplificado na Figura 14.

Figura 14 – Placa matriz com detalhe de profundidade elevada e largura reduzida.

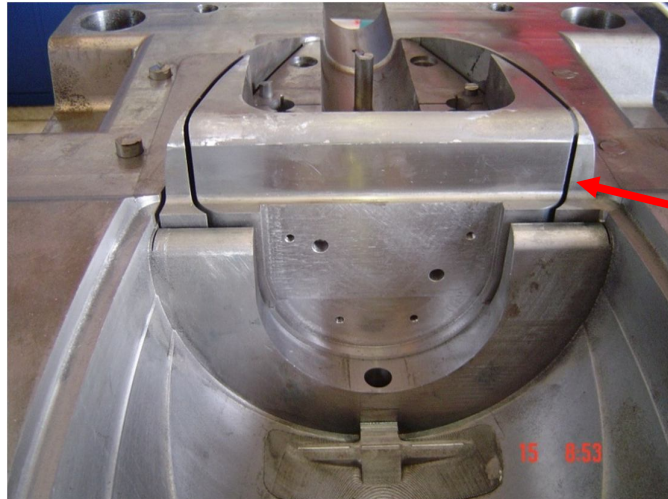


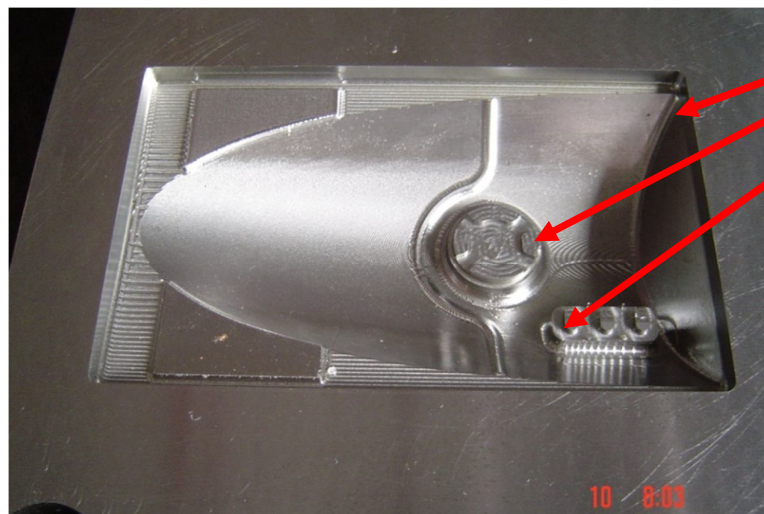
Figura
esbelta

Fonte: Próprio Autor.

- Quando o material possui uma dureza elevada para operações de fresamento.
- Quando a operação de fresamento não consegue fabricar cantos vivos.

A Figura 15 apresenta uma placa matriz com a superfície desbastada e a Figura 16 mostra a mesma placa matriz após a eletroerosão.

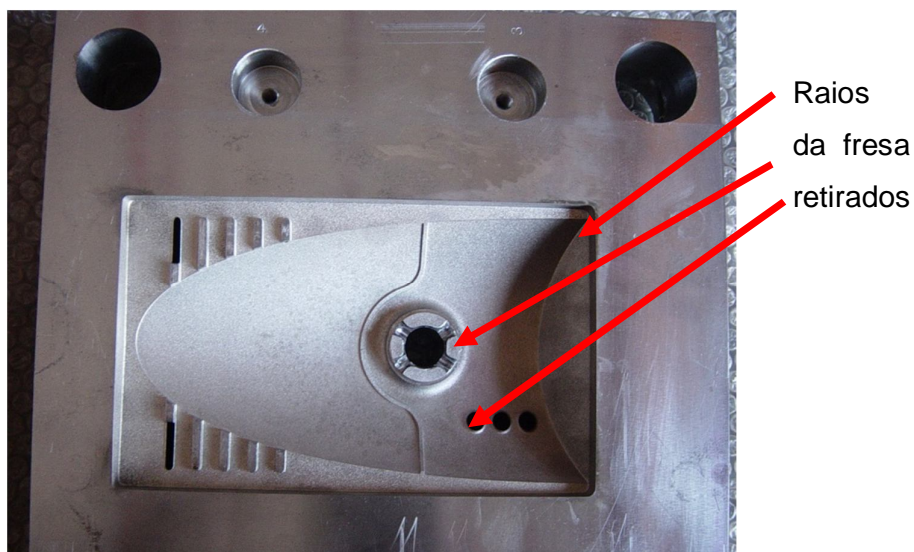
Figura 15 – Placa matriz pré-acabada no processo de fresamento.



Raios
deixados
pela fresa

Fonte: Próprio Autor.

Figura 16 – Placa matriz acabada no processo de eletroerosão.



Fonte: Próprio Autor.

Além dos processos de fresamento e eletroerosão, que tem uma maior relação com o foco deste trabalho, há ainda outros processos de usinagem envolvidos na fabricação dos componentes de moldes de injeção. A Tabela 2 associa os componentes do molde aos processos utilizados em sua fabricação.

Tabela 2 – Processos utilizados na fabricação dos componentes dos moldes

Item	Placa/acessório	Processos de usinagem				
		Fresamento CNC/Convencional	EDM	Retificação	Furação	Polimento
1	Placa Base Superior	X		X	X	
2	Placa Matriz	X	X	X	X	X
3	Placa Macho	X	X	X	X	X
4	Gavetas/trilhos/placa de desgaste	X	X	X	X	X
5	Placa Suporte	X		X	X	
6	Placa Extratora	X			X	
7	Placa Contra Extratora	X			X	
8	Espaçadores	X		X	X	
9	Placa Base Inferior	X		X	X	

Fonte: O Próprio autor.

A retificação é um processo de usinagem mecânica onde a remoção do material é obtida através do contato entre a peça e uma ferramenta abrasiva, rebolo, que gira em alta rotação, enquanto a peça tem a velocidade menor. Este processo de retificação confere à peça alta precisão geométrica e dimensional. Na fabricação de moldes de injeção, este processo confere paralelismos às placas, otimiza o ajuste das gavetas e trilhos, reduz o tempo de fechamento, usina saída de gases, entre outras operações.

A furação é um processo de usinagem mecânica, que tem como objetivo a geração de furos cilíndricos, através do movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta, denominada broca. Na fabricação de moldes de injeção, este processo gera os furos das colunas, furação de extração e refrigeração, furação para obtenção de roscas internas, entre outras.

As cavidades dentro do molde, conforme características do produto, devem ser polidas, lapidadas e cromadas. Isso facilita a extração das peças injetadas, permite obter peças com melhor acabamento, facilita o fluxo e diminui o ataque químico e abrasivo de alguns termoplásticos fundidos.

Produtos para polimentos e lapidação existem os mais variados. O polimento pode ser feito com ferramentas temperadas e pastas abrasivas convencionais e a lapidação, com ferramentas de ferro fundido ou cobre, e compostos de carbetto de silício ou óxido de alumínio.

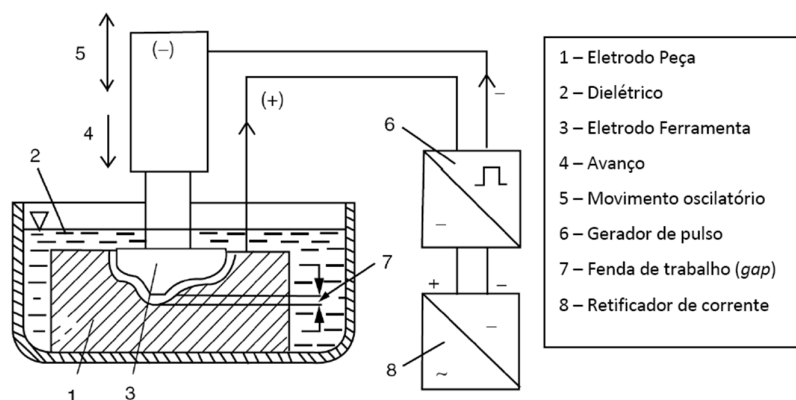
2.3 Eletroerosão

O processo de Eletroerosão, ou usinagem por descargas elétricas, é indicado na fabricação de formas complexas em materiais de alta dureza, pequenas dimensões, difíceis de serem usinados por processos tradicionais de usinagem e que sejam materiais condutores de eletricidade.

A descrição de um processo utilizando cargas elétricas para obtenção de pó metálico data de meados do século XVIII. Mas este processo, utilizando industrialmente o princípio de eletroerosão, começou há cerca de setenta anos para retirada de machos, brocas e alargadores quebrados de dentro das peças (KONIG e KLOCKE *apud* AMORIM, 2002).

Os dois principais tipos de eletroerosão são: Eletroerosão por penetração (EDM) e Eletroerosão a Fio (WEDM). No processo de eletroerosão por penetração, o eletrodo-ferramenta transmite sua figura para o eletrodo peça na medida em que avança na cavidade sendo usinada. Este avanço do eletrodo pode ser executado no sentido vertical (eixo Z) e/ou horizontal (eixos X e Y). A Figura 17 apresenta um esquema de Eletroerosão por penetração.

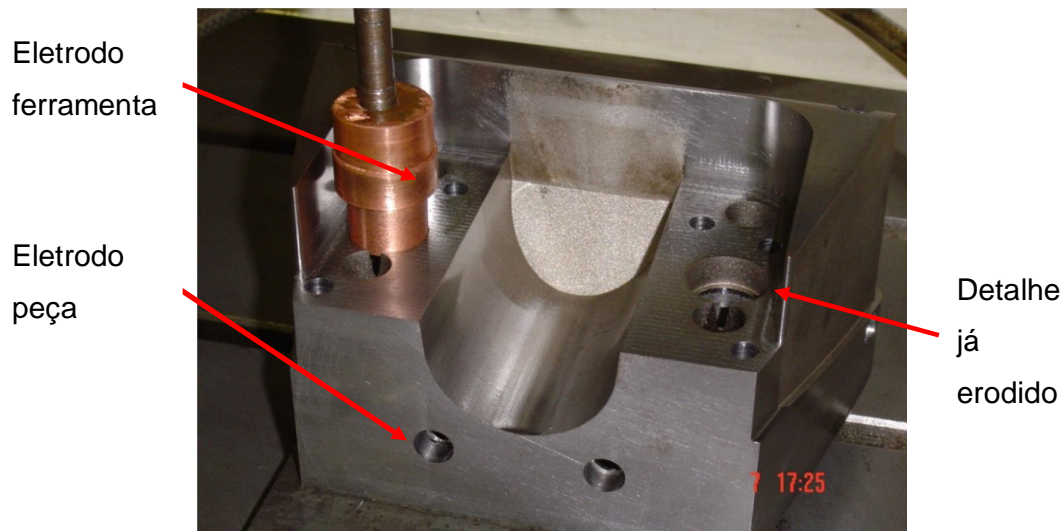
Figura 17 – Esquema de usinagem por eletroerosão por penetração.



Fonte: YOUSSEF e EL-HOFY *apud* SANTOS (2010).

A Figura 18 apresenta um exemplo de peça erodida por penetração.

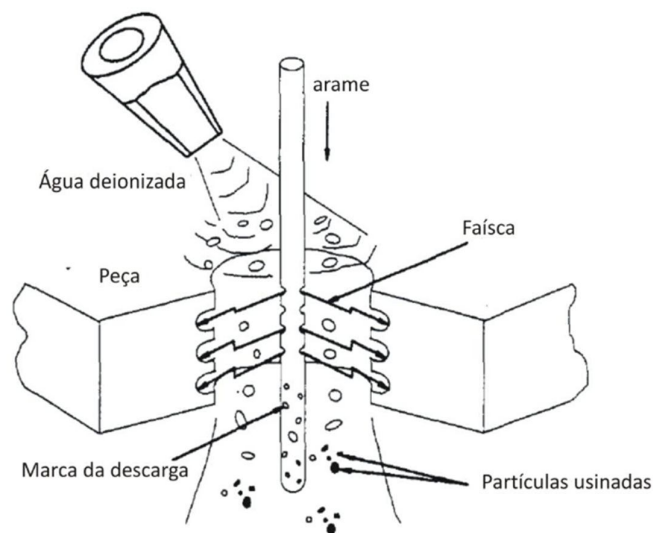
Figura 18 – Exemplo de peça erodida por penetração.



Fonte: Próprio Autor.

No processo de eletroerosão a fio, um fio é desenrolado de uma bobina continuamente durante o processo atuando como eletrodo, sendo a peça produzida pelo movimento relativo entre o fio e a peça. Segue na Figura 19 um esquema de erosão a fio.

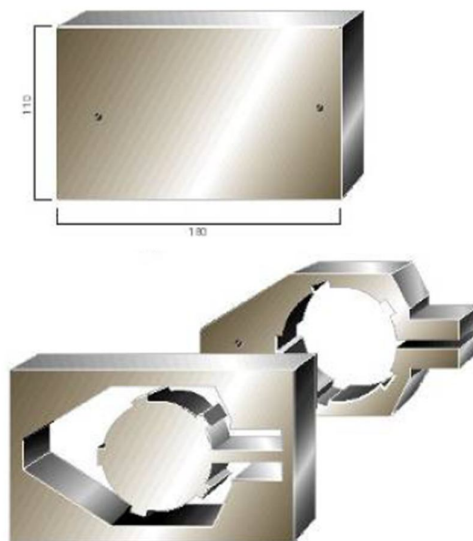
Figura 19 – Esquema de usinagem por eletroerosão a fio



Fonte. TARNG, MA e CHUNG (1995).

Na Figura 20 mostra uma sequência de peça esquadrejada para peça final obtida através de erosão a fio.

Figura 20 – Exemplo do processo de erosão a fio.



Fonte. AGIE CHARMILLES (2008).

2.3.1 Princípio de Funcionamento

Na máquina de eletroerosão, o eletrodo ferramenta avança em direção ao eletrodo peça, ambos mergulhados em um fluido dielétrico. Amorim (2002) cita o seguinte:

O eletrodo ferramenta e o eletrodo peça, a ser usinado, estão ligados através de cabos com um gerador. A energia elétrica liberada pelo gerador provoca descarga da faísca que, em consequência, promove o aquecimento, a fusão e a evaporação de uma pequena quantidade de material em ambos os eletrodos, segundo argumentação de König & Klocke (1997). Entre duas faíscas sucessivas é estabelecido um intervalo, quando então é expulso o material eletroerodido para fora da fenda de trabalho, formando uma pequena cratera em ambos os eletrodos. Este ciclo se repete até a usinagem completa da peça.

Na figura 21 estão representados os principais parâmetros de controle do processo conforme norma VDI 3402 de 1990.

\hat{u}_i - tensão em aberto;

u_e - tensão média da descarga;

U - tensão média de trabalho durante a usinagem;

t_d - tempo de retardo de ignição da descarga;

t_e - duração de descarga;

t_i - duração do pulso de tensão ($t_d + t_e$);

t_o - duração do intervalo entre duas sucessivas descargas;

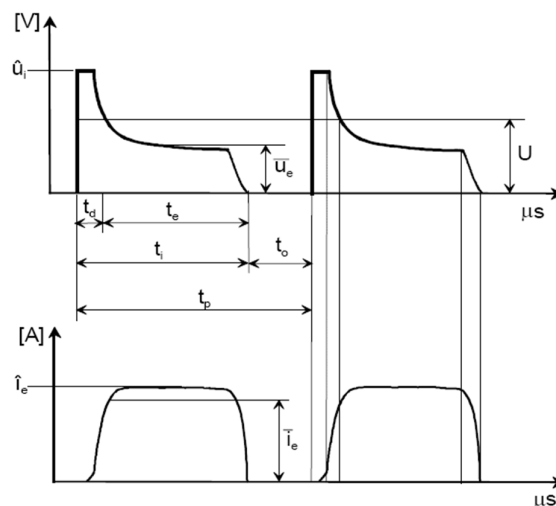
t_p - duração do período do ciclo de uma descarga;

\hat{i}_e - corrente máxima durante a descarga;

i_e - corrente média durante a descarga;

τ - relação de contato: representa a razão entre a duração do pulso (t_i) e a duração do período do ciclo da descarga (t_p).

Figura 21 - Evolução da tensão e corrente elétricas durante a descarga de uma faísca.



Fonte: AMORIM (2002).

Segundo Amorim (2002), a energia da descarga, que significa a energia fornecida por uma faísca à fenda de trabalho e determina o volume de material removido por descarga, assim como a qualidade do acabamento superficial, é simplificada representada pela equação 01:

$$W_e = u_e \cdot j_e \cdot t_e \quad [J] \quad (\text{Eq. 01})$$

Para avaliação do rendimento do processo são usualmente utilizados os seguintes parâmetros:

V_w – taxa de remoção de material: representa o volume de material removido do eletrodo-peça durante o tempo [mm^3/min].

V_e – taxa de desgaste: representa o volume de material que é removido do eletrodo-ferramenta durante o tempo [mm^3/min].

ϑ – desgaste relativo: representa o desgaste volumétrico relativo entre os eletrodos-ferramenta/peça, dado pela razão entre **V_e** e **V_w** normalmente em valores percentuais (equação 02).

$$\vartheta = \frac{V_e}{V_w} (* 100) [\%] \quad (\text{Eq. 02})$$

A qualificação da textura superficial das peças eletroerodidas é analisada usualmente pelos parâmetros de rugosidade **R_a** e **R_z** , ambos em [μm].

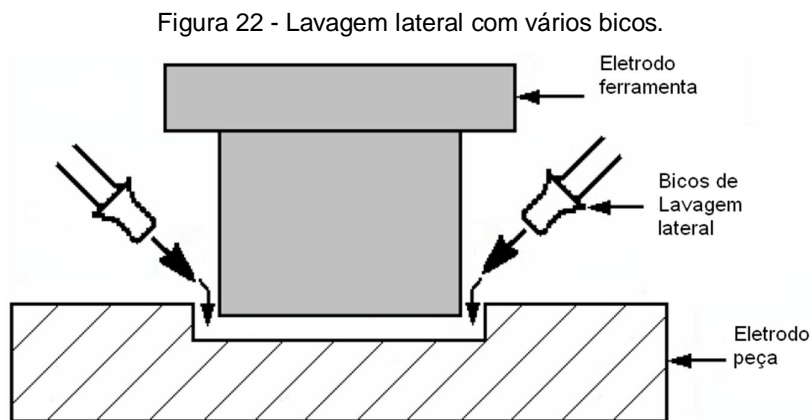
2.3.2 Influência da Lavagem dos Produtos Erodidos

Durante o processo de usinagem por eletroerosão pode acontecer uma instabilidade devido a formação de arcos e curtos-circuitos geradas pela contaminação da fenda. Esta contaminação da fenda de trabalho é devido às partículas eletroerodidas e também por produtos gerados da desintegração do óleo dielétrico (AMORIM, 2002). Esta contaminação da fenda de trabalho produz benefícios, pois algumas partículas, que permanecem na fenda, após o término da descarga, intensificam o campo elétrico favorecendo maior facilidade para a próxima faísca (MULLER, 1965).

A lavagem através da alimentação de dielétrico na fenda de trabalho é responsável pela retirada dos produtos da remoção e de fundamental importância para o bom desempenho da usinagem. O dielétrico tem como principais funções reduzir a expansão do canal de plasma auxiliando na concentração da energia da descarga, evacuar as partículas eletroerodidas para fora da fenda de trabalho e de refrigerar os eletrodos ferramenta/peça.

De acordo com a geometria e profundidade da cavidade e do regime de usinagem (desbaste ou acabamento), a lavagem com o fluido dielétrico pode ser direcionada à fenda de trabalho de diversas formas, explicadas a seguir:

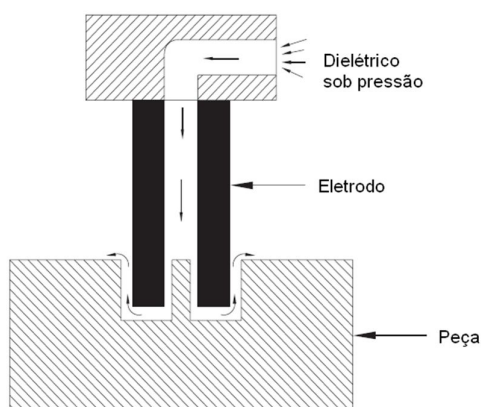
Para cavidades planas e pouco profundas, a lavagem lateral apresentada pela Figura 22 proporciona resultados satisfatórios.



Fonte: SOMMER (2007).

Para cavidades mais profundas é recomendado direcionar o fluido dielétrico sob pressão na fenda de trabalho através de furos no eletrodo-ferramenta. Os furos para a lavagem são geralmente posicionados em áreas onde resultarão as maiores profundidades de usinagem. Segundo Hajurkar (1998), o espaçamento uniforme entre estas cavidades em relação à borda do eletrodo-ferramenta traz uma melhoria no fluxo do dielétrico (SILVA, 2006), conforme modelo da Figura 23.

Figura 23 - Lavagem por pressão pelo eletrodo.



Fonte: SOMMER (2007).

No entanto, a lavagem por pressão pelo eletrodo pode ocasionar alguns aspectos indesejáveis como a conicidade ao longo das paredes laterais do furo.

Esta conicidade gerada pela lavagem por pressão pelo eletrodo-ferramenta pode ser reduzida pela utilização da técnica de sucção do dielétrico pelo eletrodo. Porém, com este tipo de lavagem pode haver a deformação do fundo do furo, ou cavidade, e da superfície do eletrodo ferramenta (SILVA, 2006).

É importante observar que a pressão e a vazão do dielétrico devem ser rigorosamente controladas pela fenda de trabalho, para que sejam obtidas boas condições de lavagem, conforme a necessidade da geometria da peça e fixação da mesma. Para trabalhos com dificuldade de usinagem, é adotado como medida de melhoria da lavagem o movimento de pulsação do eletrodo ferramenta. Este movimento de pulsação na cavidade gera um efeito de bombeamento que facilita na expulsão das partículas eletroerodidas da fenda de trabalho (SILVA, 2006).

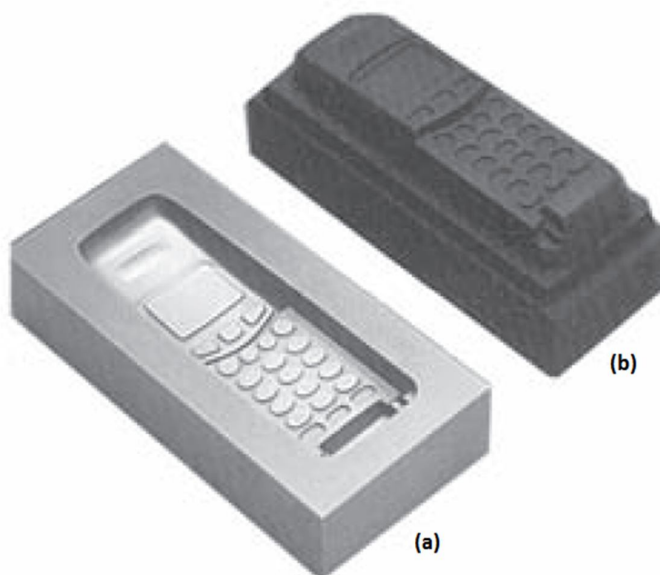
2.3.3 Eletrodo

A seleção do eletrodo é apenas uma das muitas etapas da eletroerosão por penetração e utilizá-lo com sucesso é difícil comparado com o processo de eletroerosão de corte a fio. Os usuários de máquinas de eletroerosão de corte a fio e o processo de seleção se completam, não há fabricação envolvida, pois o eletrodo é o próprio fio.

O operador de eletroerosão por penetração enfrenta um grande desafio que é projetar o eletrodo. Ele deve selecionar o material mais adequado e, em seguida, projetar como será o eletrodo. Deve estudar a melhor maneira de fabricá-lo conforme o material selecionado para o eletrodo. Então, em quase todos os casos, o operador deve se esforçar para proteger este eletrodo de desgaste excessivo.

Portanto, o eletrodo é um item importantíssimo no processo de eletroerosão, pois a forma final desejada é dada através do eletrodo. O eletrodo é a imagem negativa da figura que estará na cavidade do molde. Ele irá colocar os cantos vivos, retirar o excesso de material que não pode ser usinado através do processo de fresamento. A Figura 24 apresenta um exemplo de eletrodo-ferramenta e eletrodo-peça.

Figura 24 – (a) Eletrodo-peça e (b) eletrodo-ferramenta.



Fonte: SOMMER (2007).

As etapas para o desenvolvimento do eletrodo são:

- Verificar se a figura do molde poderá ser usinada totalmente no centro de usinagem, pois, como a taxa de remoção de material é maior no processo de usinagem por fresamento, é usual tentar usar ao máximo esse processo;
- Caso a figura tenha algum detalhe, onde o fresamento não poderá usinar, é gerado o modelamento 3D do eletrodo da figura, através de um software de CAD, o eletrodo deve ser modelado para ter rigidez, local para alinhamento na máquina de eletroerosão, local para fixação do eletrodo no mandril da máquina, posicionamento do eletrodo em relação à peça a ser erodida, e criar desenhos do eletrodo para fim de fabricação;
- Definição do material do eletrodo: Cobre eletrolítico e grafite são os mais usados;
- Geração do programa CAM para usinagem do eletrodo;
- Preparação do material do eletrodo;
- Usinagem do eletrodo.

Segundo GUITRAU (1997), o processo de seleção do material do eletrodo deve começar com a consideração de cinco fatores importantes:

- 1) Taxa de Remoção de Metal - Esta é a quantidade de material removido em um dada quantidade de tempo, mais comumente referida como "milímetros cúbicos por hora". A abreviação é MRR. Obter uma MRR eficiente não é simplesmente fazer um ajuste adequado da máquina. Também envolve a energia direta dissipada no processo EDM. Em geral, os eletrodos de grafite são muito mais eficazes que os de metal, contudo as taxas de remoção de metais variam bastante entre os diversos tipos de grafite.
- 2) Resistência ao desgaste - Este é um dos aspectos mais importante na seleção de material do eletrodo. Existem quatro tipos de desgaste a considerar: volumétrico – desgaste em todo o corpo do eletrodo que entrar em contato com a peça; canto – desgaste no canto vivo do eletrodo; desgaste frontal e lateral – desgaste na parte lateral do eletrodo. Desgaste de canto geralmente é a maior preocupação, uma vez que os contornos do corte final são determinados pela capacidade do eletrodo de resistir à erosão de vértices e arestas.

- 3) Acabamento superficial desejado - Um bom acabamento superficial pode ser obtido por uma combinação adequada de material, boas condições de escoamento e adequada regulagem elétrica da máquina de eletroerosão. Uma alta frequência e baixa potência produzem o melhor acabamento, pois estas condições produzem menores crateras no material a ser trabalhado. O acabamento desejado pode também, por vezes, ditar a seleção de material de eletrodo. Para um acabamento fino usando grafite, o material do eletrodo deve ser denso. Acabamentos espelhados são geralmente obtidos com vários eletrodos de cobre ou eletrodos de grafite em movimento (orbitando ou rotacionando).
- 4) Custos de fabricação - Isso dependerá da complexidade do eletrodo. Quanto mais complexo é o eletrodo, quanto maior será o custo de fabricação. O grau de dificuldade na fabricação do eletrodo conforme as matérias-primas, e / ou a possível operação de rebarbação, devem ser avaliados. Porém, simplesmente ser fácil de usinar não torna um material necessariamente a melhor escolha para um eletrodo. O eletrodo também deve ser forte, para resistir a danos pelo manuseio e pelo próprio processo de EDM. A resistência e o pequeno tamanho de partícula são importantes, de modo que se possam atingir raios mínimos e tolerâncias estritas. A dureza do material também forma um fator na capacidade de usinagem, já que quanto mais duro for o material do eletrodo, tanto mais caro será seu processo de fabricação.
- 5) Os custos da Matéria prima - O custo do material do eletrodo geralmente representa apenas pequena parte do custo total de um trabalho de eletroerosão. O que é frequentemente verificado, porém, é que o custo do material do eletrodo, é considerado baixo. Os fatores: tempo de fabricação, o tempo de corte, mão de obra e o desgaste do eletrodo, dependem do material do eletrodo, mais que qualquer outro. Assim sendo, é importante que se conheça as propriedades e características dos materiais dos eletrodos disponíveis, pois os mesmos afetam os resultados da usinagem.

Os eletrodos são normalmente produzidos pelos métodos de usinagem como torneamento e fresamento.

2.3.4 Influência do Material do Eletrodo-Ferramenta e Eletrodo-Peça

O eletrodo-ferramenta é o meio pelo qual a energia elétrica é transportada para o eletrodo-peça. A forma do eletrodo-ferramenta estabelece um molde no eletrodo-peça através das faíscas elétricas que ocorrem durante o processo. O eletrodo-ferramenta assim transfere a sua imagem ao eletrodo-peça, à medida que avança na cavidade que está sendo usinada. Um dos requisitos para qualquer material utilizado como eletrodo na eletroerosão é ser condutor de eletricidade, sendo que materiais isolantes não são utilizados. Uma ampla variedade de materiais é utilizada na fabricação de eletrodos-ferramenta, como por exemplo, o cobre e a grafita para a usinagem de aços e o cobre-tungstênio para a usinagem de metal duro. Cada material é disponível em diferentes classificações ou ligas que podem ser utilizados em necessidades específicas (DRODZA *apud* SILVA, 2006).

As seguintes considerações gerais são para efeito de comparação entre os materiais mais utilizados na EDM (SILVA, 2006).

O cobre geralmente classificado como eletrolítico, é principalmente utilizado quando se precisa obter uma ótima superfície de acabamento. Pode ser polido a uma superfície de acabamento contendo uma rugosidade de $R_a = 0,25\mu\text{m}$ (DRODZA *apud* SILVA, 2006).

O cobre-tungstênio possui uma ótima resistência ao desgaste térmico e é menos suscetível a rupturas ou fraturas quando usinado em finas lâminas para EDM de cavidades profundas, quando comparado com a grafita.

A grafita transformou-se no material de eletrodo predominante na EDM. As classes da grafita variam entre as de partículas de tamanho superior chegando a 0,20 mm contendo baixa densidade e as partículas de tamanho bem inferior chegando a 0,013 mm contendo alta densidade. O custo do eletrodo de grafita varia entre valores baixos para as classes de partículas de baixa densidade a valores altos para as classes de partículas de alta densidade.

Segundo DRODZA *apud* SILVA, 2006:

Normalmente utilizada para a usinagem de aços, a grafita proporciona alta taxa de remoção de material quando comparado com eletrodos de materiais metálicos, sendo facilmente processadas por torneamento, fresamento, furação e retificação.

Ao utilizar eletrodo de grafita na usinagem, devem-se ter cuidados especiais, pois o mesmo apresenta o inconveniente de gerar uma alta quantidade de pó. Estas pequenas partículas geradas depositam-se nas guias das máquinas-ferramenta resultando na redução da vida do equipamento.

Mais informações a respeito do processo de eletroerosão podem ser encontradas nas seguintes referências: Amorim (2002), Silva (2006), Guitrau (1997), König e Klocke (1996), Santos (2010), Weingaertner (1990) e Sommer (2007).

2.4 FMEA

FMEA ou FMECA é um desdobramento do Processo Militar MIL-P-1629, originado das forças armadas dos Estados Unidos, intitulado “*Procedures for Performing a Failure mode, Effects and Criticality Analysis*” (Procedimentos para desenvolver uma análise de modo, efeitos e criticidade de falhas), que mais tarde foi denominado apenas FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*, ou Análise de Modo e Efeito de Falhas). Este procedimento, data de 9 de novembro de 1949, foi originalmente utilizado como técnica de confiabilidade para determinar o efeito do sistema e falhas de equipamento. As falhas foram classificadas de acordo com seu impacto sobre o sucesso da missão e do pessoal de segurança. FMECA foi desenvolvido e aplicado pela NASA em 1960 para melhorar e verificar a confiabilidade do hardware programa espacial. Atualmente, FMEA é uma análise padrão bastante empregada na indústria automotiva (SAKURADA, 2001). Segundo STAMATIS *apud* ALVES (2008), a condução de um FMEA proporciona os seguintes benefícios:

- Melhorar a qualidade, confiabilidade e segurança dos produtos ou serviços;
- Melhorar a imagem e a competitividade da companhia;
- Contribuir para aumentar a satisfação do cliente;
- Reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento dos produtos;
- Identificar procedimentos de diagnóstico;
- Estabelecer uma prioridade para a tomada de ações de melhoria;
- Identificar características críticas ou significativas;

- Contribuir na análise de um novo processo de montagem ou de manufatura;
- Contribuir na análise de tarefas, seqüência ou serviços;
- Estabelecer um foro para prevenção de defeitos;
- Identificar erros e sua prevenção;
- Contribuir na definição de ações corretivas;
- Assegurar que todas as falhas concebíveis e seus efeitos no sucesso operacional foram considerados;
- Listar falhas potenciais e identifica a magnitude relativa de seus efeitos;
- Prover a documentação histórica para futuras referências para auxiliar na análise de campos de falha e considerações nas mudanças de projetos, processos e serviços.

2.4.1 Tipos de FMEA

Esta metodologia pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto do produto como do processo. As etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, ambas diferenciando-se somente quanto ao objetivo. Assim, segundo Toledo e Amaral (2006) as análises FMEA's são classificadas em dois tipos:

- **FMEA DE PRODUTO:** são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto. É comumente denominada também de FMEA de projeto.
- **FMEA DE PROCESSO:** são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com relação às especificações do projeto.

Há ainda um terceiro tipo, menos comum, que é o FMEA de procedimentos administrativos. Nele analisam-se as falhas potenciais de cada etapa do processo com o mesmo objetivo que as análises anteriores, ou seja, diminuir os riscos de falha.

2.4.2 Metodologia do FMEA

Os principais passos para a execução de um FMEA foram citados por FERNANDES (2005) e são os seguintes:

1. Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
2. Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade;
3. Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa;
4. Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção;
5. Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

Inicialmente, identificam-se os modos de falha conhecidos e potenciais, listando-se todas as funções (incluindo características ou requisitos) do sistema, produto, componente, serviço ou processo em questão. Nessa etapa, é comum a utilização de técnicas relacionadas ao *brainstorming* a fim de encontrar todos os possíveis modos de falhas.

Após a identificação dos modos de falha para função, deve-se determinar através do conhecimento teórico, ou prático, o efeito que cada falha causará ao cliente, classificando-a quanto à severidade, como por exemplo, perda total de função ou riscos de morte. Segundo FERNANDES (2005), para efetuar esta classificação o método mais utilizado é através de tabelas que orientam a classificação da severidade conforme faixas pré-determinadas, onde 1 representa nenhum impacto ao cliente e 10 uma falha crítica.

Através do histórico de sistemas, produtos, processos ou serviços semelhantes, e o conhecimento técnico, são definidas as causas reais e potenciais pelas quais cada modo de falha possa vir a ocorrer.

De posse das causas, passa-se a identificar os meios de prevenção, características do sistema, produto, processo ou serviço, que reduzem a probabilidade de ocorrência desta falha. Com base nestas informações e históricos de ocorrência da falha em situações semelhantes ou reais, cada causa é classificada quanto a sua probabilidade de ocorrência. FERNANDES (2005) afirma que o método mais utilizado é através de tabelas com faixas pré-determinadas que

orientem a classificação, onde 1 representa ocorrência remota e 10 uma alta ocorrência.

Desta forma, após a identificação dos meios de detecção estes são classificados conforme a sua capacidade em identificar a falha antes que o efeito final ao cliente tenha ocorrido.

Por fim, avalia-se o potencial de risco em cada modo de falha. Este potencial está associado ao seu impacto ao cliente, ou seja, severidade, a sua probabilidade de ocorrência e probabilidade da sua detecção. Um risco considerado baixo pode ter ocorrência relativamente alta, baixa probabilidade de ser detectado, porém um impacto não significativo ao cliente. Ou, em outra situação, um risco baixo pode estar associado a um impacto significativo ao cliente, porém, com ocorrência muito improvável ou alta capacidade de ser detectado antes que o efeito seja percebido pelo cliente. Um risco é considerado alto quando tiver um impacto significativo no cliente, uma ocorrência provável e baixa capacidade de ser detectado antes de seu efeito ser percebido pelo cliente.

Desde sua primeira utilização, o método FMEA já passou por inúmeras modificações e melhorias. A caracterização do método FMEA, as diferentes aplicações e propostas de alternativas na utilização proporcionam um referencial para a sua aplicação no gerenciamento de projetos.

2.4.3 Princípios Básicos do FMEA

Para uma melhor compreensão desta ferramenta, é necessário definir alguns conceitos utilizados na confecção do FMEA, que utiliza um formulário que serve de roteiro para sua elaboração e desenvolvimento, além de ser uma forma de dispor e organizar os dados obtidos. A Figura 25 ilustra um exemplo de uma planilha de FMEA e na sequência, com base na planilha, formalizam-se os conceitos de cada uma das 10 etapas para o seu preenchimento (VASCONCELOS; MIGUEL, 1999).

Figura 25 - Exemplo de uma planilha FMEA.

FMEA		<ul style="list-style-type: none"> • Projeto de Produto ❶ • Revisão de Projeto de Produto 			<ul style="list-style-type: none"> • Processo • Revisão de Processo 						
Cliente		Aplicação									
Data		____/____/____			Produto/Processo ❷						
Fornecedor				Áreas envolvidas							
ITEM	NOME DO COMPONENTE OU PROCESSO	Data elaboração ____/____/____			ATUAL						
		FALHAS POSSÍVEIS					ÍNDICES				
		MODO	EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES	O	G	D	R		
❸	❹	❺	❻	❼	❽	❾	❿	⓫	⓬		

Fonte: Vasconcellos Jr e Miguel (1999).

Etapa 1 – FMEA de Produto ou de Processo consiste em indicar se o FMEA será utilizado para novos produtos/processos ou revisão de produtos/processos existentes.

Etapa 2 – Cabeçalho do formulário é um espaço reservado para o preenchimento do nome do produto ou processo, bem como os dados do cliente e fornecedor, além da aplicação do produto e as áreas envolvidas.

Etapa 3 – Item é o campo reservado para efetuar a numeração seqüencial correspondente ao item.

Etapa 4 – Nome do componente, ou processo, estabelece a descrição do componente, ou processo, a ser detalhado pelo FMEA. Também pode ser preenchida a função desse componente ou processo.

Etapa 5 – Modo de falha potencial é definido como a maneira pela qual um componente, subsistema ou sistema potencialmente falharia ao executar sua ação. O modo de falha é a resposta para a questão: “Como o componente ou sistema poderá falhar?”. Ressalta-se que existem situações que apesar da veracidade do modo de falha, acabaria não sendo viável a sua realização na prática. Por isso, deve-se utilizar a praticidade e o bom senso sempre no uso da técnica.

Etapa 6 – Efeitos Potenciais de Falha consiste em indicar as consequências das falhas para os clientes (interno ou externo). O efeito da falha é a resposta à questão: “Qual o impacto de cada modo de falha no cliente?”. É importante salientar que no desenvolvimento desta coluna, deve-se solicitar ativamente a participação do

cliente. Diversas fontes para estas informações podem ser consideradas: *marketing*, da assistência técnica ou podem ser encontradas em bancos de dados históricos.

Etapa 7 – Causas da Falha é definido como a indicação dos motivos pelos quais as falhas ocorrem. A causa da falha é a resposta à questão: “Porque tal falha ocorre?”. Deve-se listar, nesta etapa, para cada modo de falha potencial, todas as causas ou razões possíveis que poderiam resultar nesse modo de falha.

Etapa 8 – Controles Atuais consiste em listar os controles que pretendem prevenir a causa de uma falha ou detectar sua causa ou modo e falha. Informações sobre os tipos de controles / sistemas atualmente em vigor dentro da organização ajudarão nesta avaliação.

Etapa 9 – Índices que são:

Ocorrência: Consiste em explicitar com que frequência o modo de falha ocorre ou a causa do modo de falha ocorrerá. Um exemplo da descrição da escala de ocorrência é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição da Escala de Ocorrência.

Índice	Ocorrência	Proporção	Cpk
1	Remota	1:1.000.00	Cpk >1,67
2	Pequena	1:20.000	Cpk >1,00
3		1:4.000	
4	Moderada	1:1.000	Cpk < 1,00
5		1:400	
6		1:80	
7	Alta	1:40	
8		1:20	
9	Muito Alta	1:8	
10		1:2	

Fonte: TOLEDO e AMARAL (2006).

Capabilidade (Cpk): é o índice que leva em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre CPU (Superior da Capabilidade) e CPL (Inferior da Capabilidade).

Severidade: Define-se severidade como sendo a gravidade do efeito do modo de falha. Um valor alto na coluna de severidade significa que a segurança dos clientes corre risco, ou ainda que o custo da falha seja extremamente alto a ponto de

ameaçar o bem estar financeiro da organização. Um exemplo da descrição da escala de severidade é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição da Escala de Severidade.

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorre
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
5		
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior, porém, afeta a segurança.
10		

Fonte: TOLEDO e AMARAL (2006).

Detecção: Consiste em definir a chance de detectar o modo de falha ou as causas que resultam neste modo de falha. Deve atentar-se para detectar o problema antes que o produto chegue ao cliente, uma vez que caso o cliente detecte o problema, poderá trazer consequências mais drásticas. Um exemplo da descrição da escala de detecção é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição da Escala de Detecção.

Índice	Detecção	Critério
1	Muito grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito pequena	Certamente não será detectado
10		

Fonte: TOLEDO e AMARAL (2006).

Para exemplificar estes índices, vamos supor uma causa, no quadro FMEA, na etapa de gerar modelamento 3D dos eletrodos, onde o programador não deixou

local para o operador alinhar o eletrodo. A possibilidade disto ocorrer é entre pequena e remota, pois é uma das etapas mais básicas, portanto o seu número ficará entre 1 e 3. Em relação à severidade, caso esta causa ocorra e não seja detectada no início do processo, pode acontecer dela só ser descoberta na hora do operador alinhar o eletrodo, portanto será necessário modelar outro eletrodo, o número de severidade ficará entre 7 e 8. A possibilidade desta causa acontecer e ser detectada no início do processo é muito grande, portanto, o número de detecção será entre 1 e 2. Esta avaliação está interligada ao processo de desenvolvimento dos eletrodos de cada ferramentaria.

Etapa 10 - Risco ou Resultado (R) é o fator de risco, o qual é obtido através do produto dos índices da Severidade, Ocorrência e Detecção. Deve utilizar-se este número para priorizar as deficiências do produto ou processo.

Mais informações a respeito do procedimento FMEA podem ser encontradas nas seguintes referências: Alves (2008), Amaral e Toledo (2006), Fernandes (2005) e Vasconcelos e Miguel (1999).

2.5 Considerações Finais

Para propor um método de tomada de decisão que auxilie no planejamento do projeto dos eletrodos, é necessário desenvolver um processo de estimativa de tempo e custo e verificar a confiabilidade do processo de planejamento e execução do eletrodo, para isto, na revisão bibliográfica foi apresentadas informações do processo de moldagem por injeção, molde para injeção de plásticos, projeto e fabricação de moldes de injeção, do processo de eletroerosão e do procedimento FMEA. Com estes conceitos, no próximo capítulo, será apresentado o método e os materiais utilizados nesta dissertação.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Conforme já mencionado, neste trabalho propõe-se um método para auxiliar na decisão estratégica de quantos eletrodos utilizar para a geração de um conjunto de detalhes em um componente de molde de injeção.

As seções que seguem apresentam o método de tomada de decisão, os experimentos realizados como aplicação deste método, um estudo de caso e uma pesquisa de campo para validação e os materiais utilizados nos experimentos de aplicação.

3.1 Métodos

Normalmente, o processista se depara com a necessidade de decidir se um conjunto de detalhes de um molde que será eletroerodido deverá ser realizado com um eletrodo único ou com eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si. O método proposto auxilia nesta tomada de decisão baseando-se nos seguintes critérios: custos, prazo (tempo), e qualidade (confiabilidade).

A planilha eletrônica a ser utilizada neste método de tomada de decisão foi elaborada da seguinte forma:

Foram levantados três critérios, conforme descrito acima: prazo, custo e qualidade. Estes três critérios foram subdivididos em outros subcritérios:

- Custo:
 - Custo com material do eletrodo, onde é comparado o custo do volume do eletrodo único com a soma dos volumes dos n eletrodos complementares. O preço do material do eletrodo é baseado no valor de aquisição no mercado. e;
 - Custo de fabricação do eletrodo, com o levantamento da hora-máquina e homem-hora envolvida em cada etapa.
- Prazo:
 - Tempo de fabricação do eletrodo, onde é comparado o tempo de fabricação de 1 eletrodo com a fabricação de vários eletrodos;
 - Taxa de remoção na EDM - é comparada as duas situações, 1 eletrodos versus vários eletrodos, onde a característica do perfil a ser erodido, com a dificuldade de lavagem da fenda de trabalho são

avaliadas para detectar qual situação terá uma lavagem mais eficiente, favorecendo uma melhor taxa de remoção. e;

- Preparação de máquina – com a avaliação do tempo de preparação entre 1 eletrodos versus vários eletrodos.

A análise do prazo é baseada nos tempos em cada etapa do processo.

Estas etapas são: Geração do modelamento 3D do eletrodo; *setup* do eletrodo; programação CAM; simulação do programa CAM; usinagem do eletrodo; preparação da EDM; acompanhamento da erosão e; erosão da peça. Para o experimento com as peças-modelo 1 e 2, foram utilizadas estas etapas. Para o estudo de caso e a utilização final do método, são utilizadas as etapas de Geração do modelamento 3D do eletrodo; *setup* do eletrodo; programação CAM; simulação do programa CAM, onde é utilizado o tempo estimado de usinagem para levantar os custos de fabricação.

Após o levantamento dos tempos de cada etapa, são comparados os tempos do processo com um único eletrodo com os tempos do processo com “n” eletrodos.

- Qualidade:
 - Confiabilidade do processo - 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;
 - Habilidade do operador – conforme o tipo de mão de obra existente e características dos eletrodos são analisados onde a habilidade do operador irá influenciar mais, em um ou em vários eletrodos. No caso da ferramentaria em estudo, foi utilizado o sistema de referenciamento System 3R, onde é dispensado o processo de alinhamento dos eletrodos. e;
 - Produto estético/técnico ou comum – Na utilização de um ou vários eletrodos, o produto é fator muito importante para definição, pois quando o produto é estético ou técnico, o acabamento, a harmonia do design, a precisão das medidas são solicitações inerente ao produto, enquanto, o produto for comum, tipo o detalhe a ser erodido está localizado no macho, não estará visível e não terá medida de precisão,

na utilização de vários eletrodos, não será uma preocupação a referência do eixo z dos eletrodos.

Aos três critérios propõe-se atribuir diferentes pesos por prioridade. Estas prioridades propõe-se que sejam dadas conforme a política da ferramentaria a ser implantada este método. Na avaliação dos critérios, comparando eletrodo único com eletrodos particionados, propõe-se atribuir a pontuação da seguinte forma:

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

A Tabela 6 apresenta a planilha do método de tomada de decisão para cada subcritério, o operador dá uma nota de 1, 3 ou 5. A média e a média ponderada são calculadas automaticamente, assim como a pontuação total e relativa para cada opção de leiaute de eletrodos.

Tabela 6 – Planilha de tomada de decisão.

	Custo			Prazo				Qualidade			PONTUAÇÃO TOTAL	PONTUAÇÃO RELATIVA
	Peso 1			Peso 2				Peso 3				
	CUSTO DE MATERIAL	CUSTO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	MÉDIA PONDERADA	TEMPO DE FABRICAÇÃO DO ELETRODO	TAXA DE REMOÇÃO NA EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA PONDERADA	CONFIABILIDADE	HABILIDADE DO OPERADOR	ESTÉTICA/TÉCNICA OU COMUM		
ELETRODO ÚNICO												
ELETRODOS PARTICIONADOS												

Fonte: Próprio Autor.

Portanto, com os tempos estimados com auxílio do *software* CAM e dimensionamento dos eletrodos, foram avaliados estes 3 critérios, verificando-se as características do produto.

Os critérios de avaliação desta planilha foram elaborados pelo autor, onde as avaliações seguem a mesma regra para os experimentos (peças-modelo 1 e 2) e o estudo de caso com uma peça real.

Os critérios de avaliação para pontuação de 1, 3 ou 5 são explicados a seguir:

- Custo com material: menor custo, maior pontuação, 5. Caso a diferença no custo do material for maior do que 20%, a pontuação será de 5 para o menor custo e 1 para o maior custo;
- Custo de fabricação do eletrodo (hora-máquina e hora-homem): menor custo, maior pontuação. Caso a diferença no custo de fabricação for maior do que 20%, a pontuação será de 5 para o menor custo e 1 para o maior custo;
- Tempo: quanto menor for o tempo de execução, maior será a pontuação. Caso a variação de tempo de um eletrodo com vários eletrodos dê um percentual acima de 20%, esta pontuação será de 5 para o menor tempo e 1 para o maior tempo;
- Taxa de Remoção: Dependendo da geometria da peça, a maior pontuação, 5, será para a opção que se conseguir maior taxa de remoção em menor tempo;
- Nº de preparação de máquina: Se a preparação for uma relação de 1:3, a avaliação será de 5 para uma preparação e 3 para as 3 preparações. Caso a relação seja de 1:4, a avaliação será de 5 para uma preparação e 1 para 4 preparações ou mais.
- Confiabilidade: conforme o FMEA elaborado do processo, onde foram levantados os riscos mais evidentes, quando estes riscos tiverem o número de prioridade de risco muito elevado, sua pontuação será 5 para um eletrodo, 3 para dois ou três eletrodos e 1 para quatro ou mais eletrodos;
- Habilidade do operador: este item deve ser avaliado conforme a mão de obra existente na ferramentaria. De um modo geral, quando se tem apenas um eletrodo, se corre menor risco. Portanto a avaliação maior é para a utilização de menor número de eletrodos;
- Peça estética, técnica ou comum: quando a peça for uma peça estética ou técnica, será avaliada com uma pontuação de 5 para um eletrodo, 3 para dois ou três eletrodos e 1 para quatro ou mais eletrodos.

De posse das informações de tempo, custo e confiabilidade do processo, foi elaborado o método de tomada de decisão.

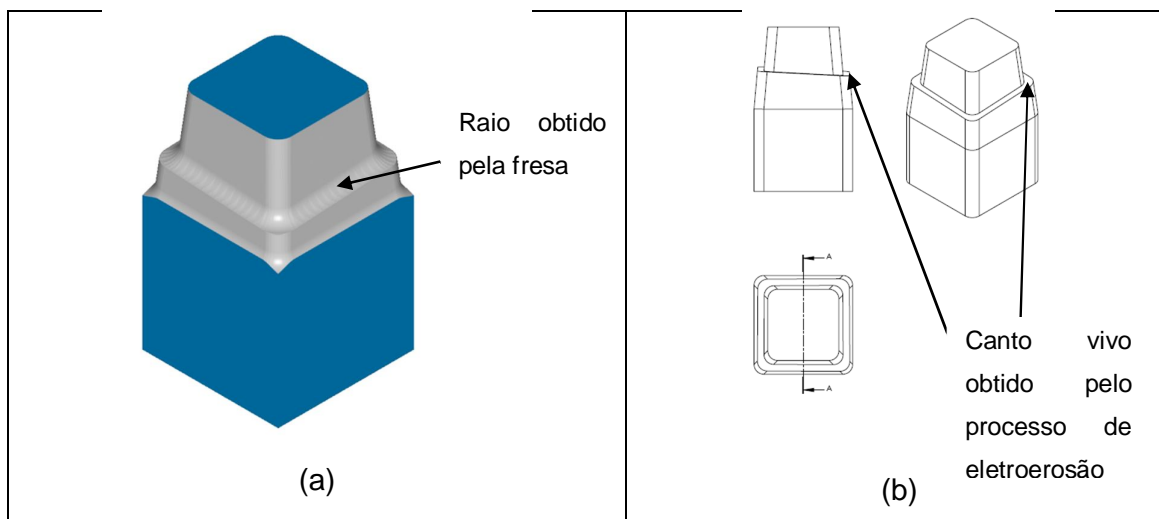
Este método permite que, o profissional que o usar, possa inserir ou retirar os subcritérios existentes, conforme a avaliação do mesmo.

Após a montagem deste método, foram realizados experimentos utilizando as peças modelo 1 e 2. Após este primeiro resultado, foi realizada uma validação com um estudo de caso e com uma pesquisa de campo, com o objetivo de verificar como os profissionais experientes da área escolhem a opção de um ou mais eletrodos (Anexo I). Esta pesquisa foi enviada para a Rede de Ferramentaria do Senai e repassada para as ferramentarias existente nas diversas regiões do País, incluindo os principais pólos ferramenteiros: Joinville e Caxias do Sul

3.1.1 Geometria de Estudo para Realização dos Experimentos

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 é necessário deixar em canto vivo. A Figura 26 (a) apresenta a peça-modelo 1.1, que mostra no detalhe, o limite de material que uma fresa consegue remover (raio) e que será retirado através do processo de eletroerosão, conforme mostra a Figura 26 (b), a peça-modelo 1.1 no final.

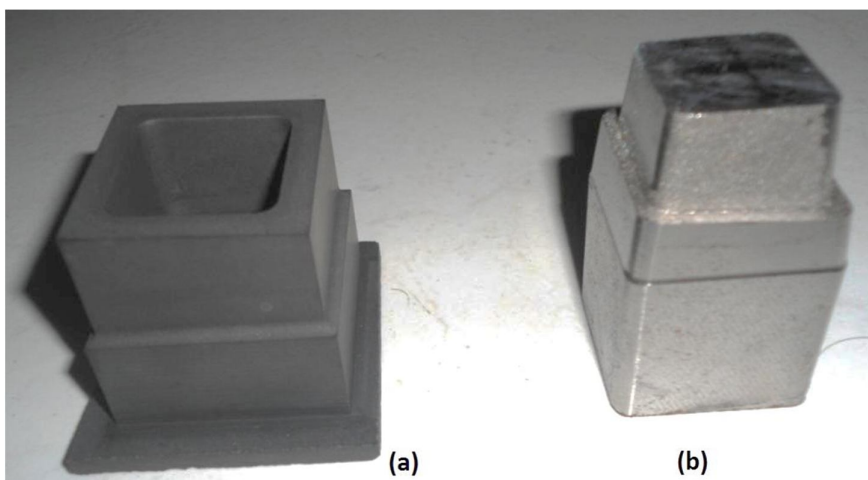
Figura 26 – Raio obtido pela fresa no ressalto da peça-modelo 1.1 (a) e Canto vivo obtido pela Erosão no ressalto da peça-modelo 1.1 (b).



Fonte: Próprio Autor.

Foram modelados e usinados eletrodos de grafite para erodir as peças modelo. A Figura 27 apresenta a peça-modelo 1.1 com o eletrodo único.

Figura 27 – Eletrodo único (a) e peça-modelo 1.1 (b).

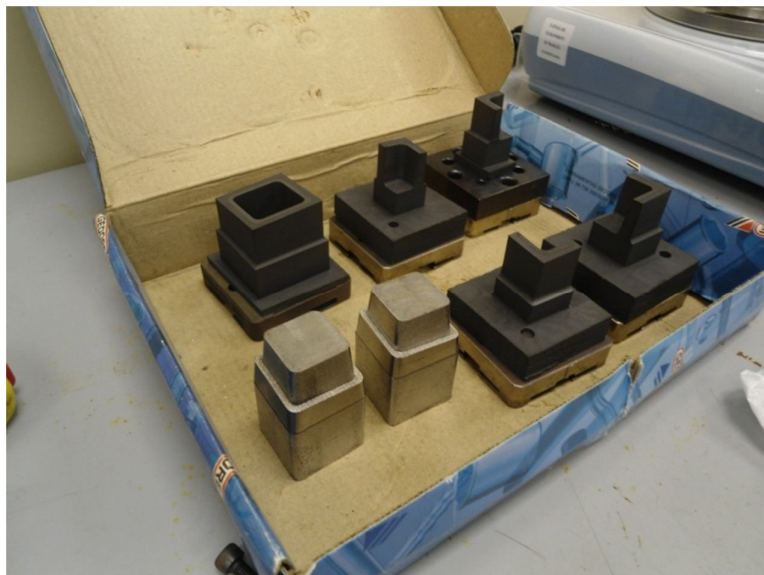


Fonte: Próprio Autor.

As dimensões das peças-modelo 1.1 e 1.2 são 30 x 30 x 60 mm.

A Figura 28 apresenta as peças-modelo 1.1 e 1.2 e o conjunto de eletrodos utilizados fixados com os elementos de referencia rápida.

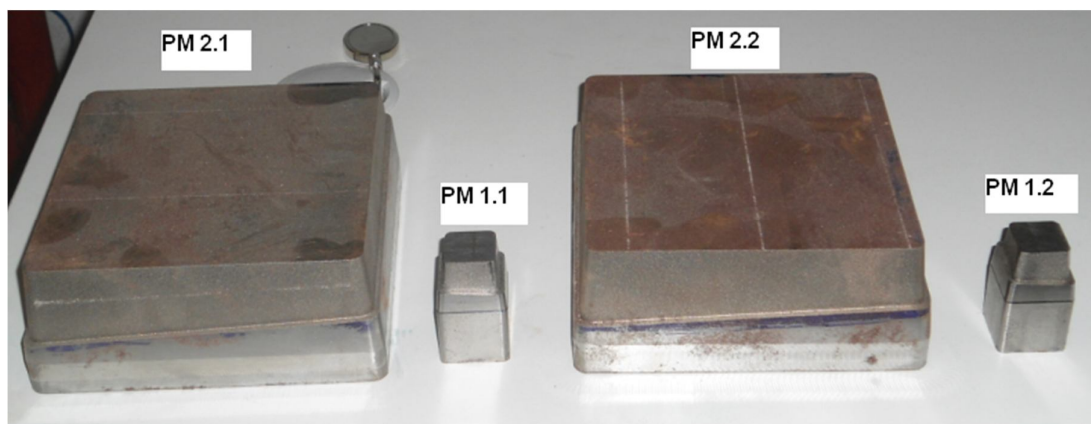
Figura 28 – Peças-modelo 1.1 e 1.2 (metálicas) e conjunto de eletrodos (em grafite escuro).



Fonte: Próprio Autor.

Para análise e comparação foram modeladas e usinadas 2 peças-modelo 1, denominadas de peça-modelo 1.1 e peça-modelo 1.2 e usinadas 2 peças-modelo 2, denominadas de peça-modelo 2.1 e peça-modelo 2.2. A Figura 29 apresenta as peças-modelo.

Figura 29 – Peças-modelo 1 e Peças-modelo 2.



Fonte: Próprio Autor.

As dimensões das peças-modelo 2.1 e 2.2 são 150 x 150 x 60 mm.

3.1.2 Estudo de Caso

Para a validação deste método, foi selecionado um estudo de caso com um eletrodo utilizado na fabricação de um molde para a indústria eletroeletrônica. Neste caso foi usinado um único eletrodo, e aplicado o método para verificar se esta foi a melhor opção. A Figura 30 apresenta o produto para a indústria eletroeletrônica.

Figura 30 – Produto da indústria eletroeletrônica.

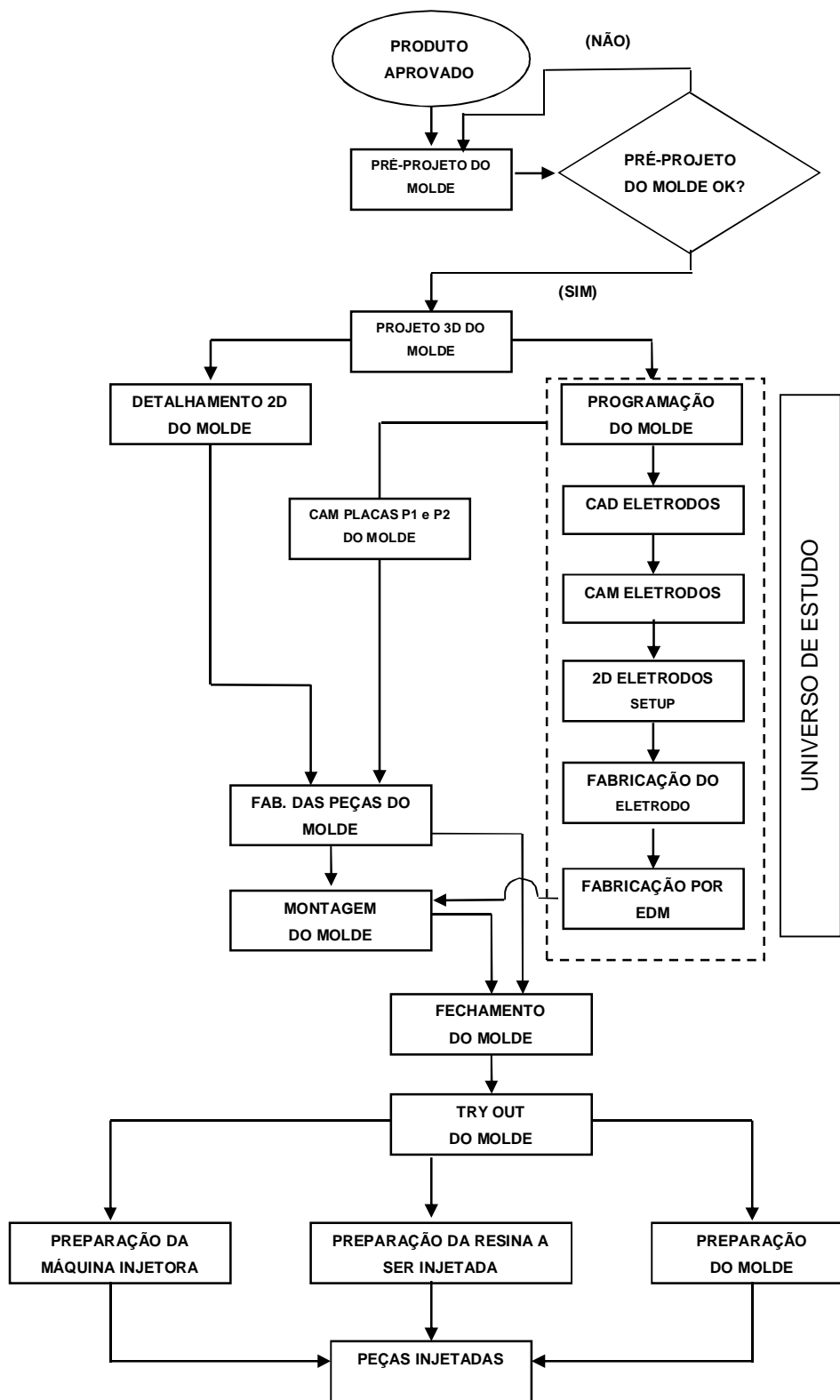


Fonte: Próprio Autor.

3.1.3 Fluxo de Processo do Estudo

A Figura 31 apresenta o fluxo de processos na ferramentaria, utilizada para aplicação dos experimentos, e estudo de caso. Na parte delimitada por linha tracejada está o universo de estudo desta dissertação. Na etapa de programação do molde é realizado o estudo para verificar, conforme a geometria do produto, até que ponto a fresa poderá retirar material e se haverá necessidade de utilizar o processo de eletroerosão. Caso a peça necessite da utilização da eletroerosão, inicia-se o estudo para verificar qual é a melhor estratégia para, assegurando a qualidade do produto, definir quais e quantos eletrodos serão necessários.

Figura 31 – Fluxo de processos na ferramentaria para projeto e fabricação de moldes.



Fonte: Próprio Autor.

3.2 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.

Nas seções seguintes serão apresentados os recursos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

3.2.1 Materiais para Realização dos Experimentos

Nestes experimentos foi utilizada grafita especial para aplicação em eletroerosão de um fabricante, comercializado no Brasil. As características da grafita são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades da grafita utilizada nos ensaios

	Densidade [kg/dm ³]	Dureza [Rockwell H]	Dureza (Shore)	Resistência à flexão [Mpa]	Resistividade Elétrica [μOhm.cm]	Tamanho médio de grão [μm]	Tamanho Padrão dos Blocos [mm]
Grafita	1,82	75	65	55	1.220	9	620x308x152 915x620x308

Fonte. Mersen (2012).

As peças-modelos foram de aço AISI P20 e para a usinagem das peças-modelo e dos eletrodos foram utilizados o suporte 999-25 APKT 10V-551303 para pastilha APKT IC 950, Ø 25mm e fresas esféricas de metal duro, com cobertura para usinar P20, no Ø 4mm, Ø 6mm e Ø 10mm.

3.2.2 Equipamentos para Realização dos Experimentos

O centro de usinagem CNC utilizado para a realização dos experimentos (fabricação dos eletrodos e das peças-modelo) foi a marca Romi modelo Discovery 1250. Este centro de usinagem é equipado com o CNC Siemens Sinumerik 810 e possui capacidade para usinar peças de até 1400 kg em uma área de fixação máxima de 1100 x 510 mm. Suas principais características constam na Tabela 8.

Tabela 8 - Principais características do Centro de Usinagem Romi Discovery 1250.

Centro de Usinagem Discovery 1250 ROMI	
Faixa de Velocidade	10 - 10.000
Potencia	15 kW
Avanço de corte programável	1 a 15 m/min
Curso da mesa superior (eixo X)	1.270 mm
Curso da mesa inferior (eixo Y)	610 mm
Curso do cabeçote (eixo Z)	640 mm
Distância entre o nariz da árvore e a mesa	110 a 750 mm

Fonte: Catálogo Romi (2012).

A máquina de eletroerosão por penetração utilizada para a realização dos experimentos foi a CNC SA 20 de fabricação da empresa ACTSPARK. É equipada com o CNC AEP e pode erodir peças de até 400 kg em uma área de fixação máxima de 630 x 400 mm. Suas principais características constam na Tabela 9.

Tabela 9 - Principais características.

Eletroerosão por Penetração CNC ACT SPARK SA20	
GERADOR	
Corrente de Descarga	40 A
Remoção Máxima de Material	
Cobre / aço	250 m ³ /min
Grafite / aço	270 m ³ /min
Acabamento Superficial Ra: Cobre/aço	0,20 µm
CONTROLE NUMÉRICO	
Capacidade de Memória	40 GB
Monitor Colorido	15"
Porta externa USB	2
Características do CNC	Órbita, ciclos de medição, Programação na máquina ou no PC e autodiagnostico.
CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA	
Máximo peso do eletrodo (eixo C)	80 Kg
Distância Max-Min entre mesa e mandril	230-480 mm
Curso X, Y e Z	350x250x250 mm
Resolução de Posicionamento	0,5 µm

Fonte: ACTSPARK (2010).

3.2.3 Softwares para Realização dos Experimentos

A modelagem das peças-modelo e dos eletrodos foram realizadas no SolidWorks versão 2011, as simulações de processos de usinagem das peças-modelo e dos eletrodos, bem como a elaboração dos programas CNC foram realizados utilizando-se o *software* SurfCAM Versão 5 e para elaborar a planilha de tomada de decisão através da metodologia de Matriz de priorização foi utilizado o *software* Excel, versão 97-2003, da Microsoft.

4 EXPERIMENTOS E ESTUDO DE CASO

Conforme já mencionado, foram selecionadas duas peças-modelo para os experimentos e uma peça de um conjunto de moldes (caso real), usinado na ferramentaria utilizada para o estudo de caso. No caso dos experimentos foi utilizado um sistema de referência rápida da System 3R, onde se consegue o mesmo alinhamento, tanto no centro de usinagem, durante a fabricação dos eletrodos, como na máquina de eletroerosão, durante a erosão das peças, sem necessidade de alinhar os eletrodos.

4.1 Peça-Modelo 1

Foram usinadas duas peças-modelo 1, onde, conforme a Figura 32 o objetivo era obter o detalhe em canto vivo.

Figura 32 - Peça-modelo 1.



Fonte: Próprio Autor.

4.1.1 Seqüenciamento

4.1.1.1 Definição e Modelamento da Peça-modelo 1

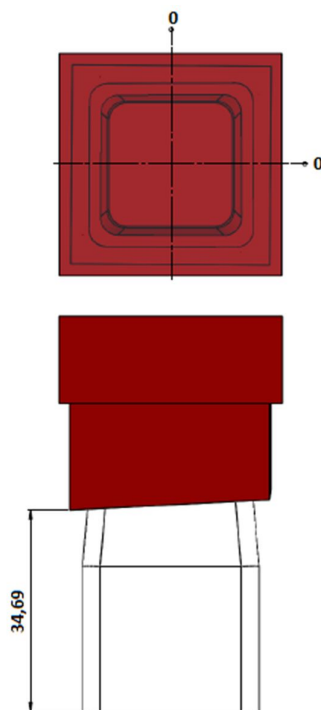
A primeira etapa do processo foi a definição e modelagem da peça-modelo 1, com a medida lateral com 30 mm.

Definida e modelada a peça-modelo 1, foi programada, através do CAM, a usinagem em material P20, onde foi utilizada uma fresa com pastilha com diâmetro de 25 mm para esquadreamento da peça e fresa esférica de metal duro, com diâmetro de 4 mm, para desbaste e acabamento. Desta forma, o mínimo raio deixado pela fresa foi de 2mm.

4.1.1.2 Definição e geração do modelamento 3D do eletrodo

Foi utilizado o *software* de CAD para gerar o modelamento 3D dos 5 eletrodos. O primeiro eletrodo, um único que erode todos os lados da peça-modelo 1, conforme mostra a Figura 33.

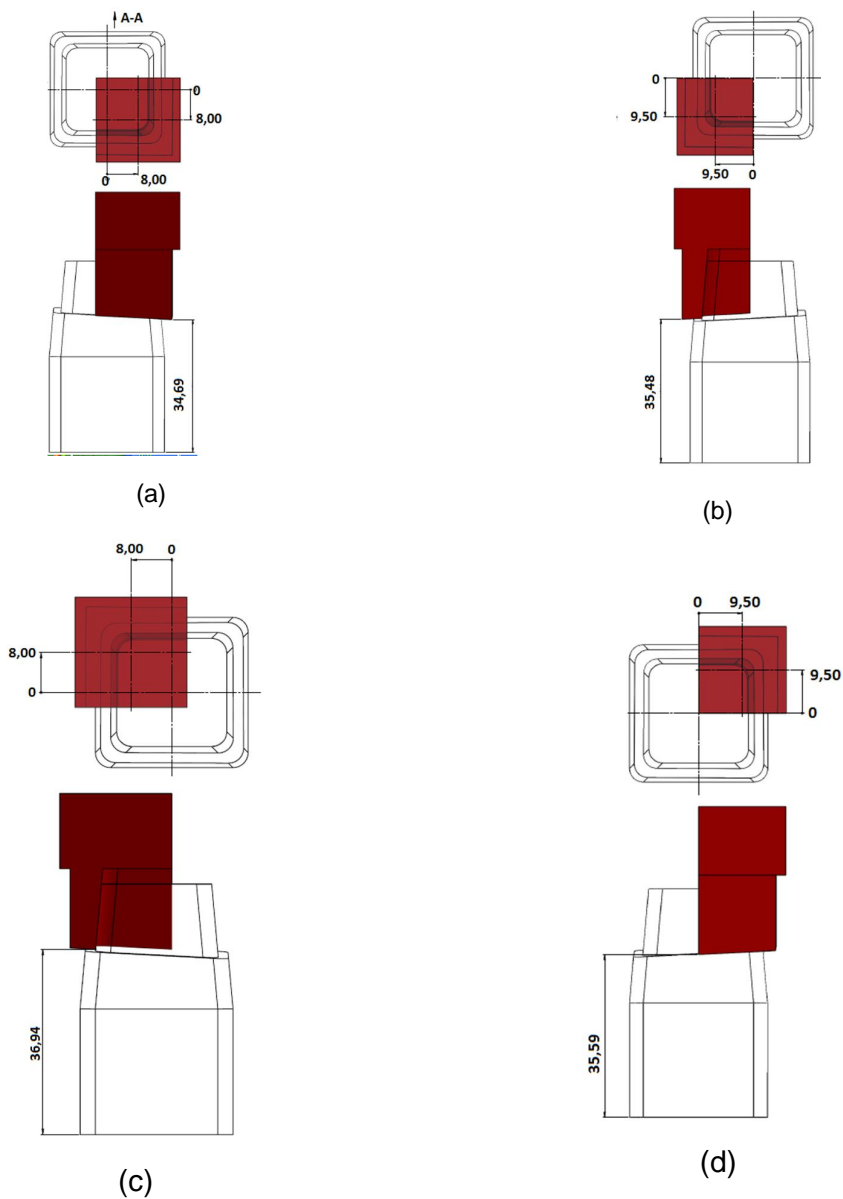
Figura 33 – *Setup* do eletrodo grande utilizado na peça-modelo 1.1.



Fonte: Próprio Autor.

Os outros quatro eletrodos são menores, subdivididos e complementares entre si, conforme mostra a Figura 34 os *setups* dos eletrodos particionados 1, 2, 3 e 4.

Figura 34 – *Setups* dos eletrodos particionados 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d) utilizados na peça- modelo 1.2.



Fonte: Próprio Autor.

4.1.1.3 Geração de programa CNC, simulação do programa e usinagem do eletrodo

Foram gerados e simulados todos os programas de usinagem referente aos eletrodos único e particionados e, após a simulação de cada programa, os eletrodos foram usinados. Durante todas as etapas foram cronometrados os tempos.

4.1.2 Resultados obtidos

A Tabela 10 mostra os tempos da peça-modelo 1.1 erodida com um único eletrodo e da peça-modelo 1.2 erodida com quatro eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si.

Tabela 10 – Levantamento dos tempos para as peças-modelo 1.1 e 1.2.

ETAPAS	Eletrodo	Eletrodos Particionados			
	Único	1	2	3	4
Gerar modelamento 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 do eletrodo	0:06:24	0:03:00	0:04:08	0:02:10	0:02:55
Sub-Total Eletrodos Particionados	NA	1:50:00	1:27:00	1:25:45	1:24:55
Total	2:59:10	6:07:40			

Fonte: Próprio Autor.

O tempo de usinagem do eletrodo único representa 49% do tempo total para usinar os 4 eletrodos menores. A Tabela 11 apresenta o custo com matéria prima que foi baseada nas dimensões dos eletrodos e no preço do grafite no mercado. O custo com matéria prima para o eletrodo único representou 23% do custo para erodir os 4 eletrodos particionados.

Tabela 11 – Custo com matéria prima por eletrodo para as peças-modelo 1.1 e 1.2.

	Eletrodo	Eletrodos Particionados			
	Único	1	2	3	4
Comprimento (mm)	52	51	50	50	51
Largura (mm)	48	40	48	49	49
Altura (mm)	42	49	49	44	49
Volume (mm)	104.832	99.960	117.600	107.800	122.451
Sub-total Eletrodos Particionados	NA	R\$ 15,78	R\$ 18,57	R\$ 17,02	R\$ 19,33
Total	R\$ 16,55	R\$ 70,70			

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 12 apresenta o custo com hora-máquina (HM) e homem-hora (HH) em relação à etapa de fabricação dos eletrodos. O custo relativo de hora-máquina e homem-hora do eletrodo único representou 53% em relação aos eletrodos particionados.

Tabela 12 – Levantamento de custo HM e HH para peça-modelo 1.1 e 1.2.

CUSTO	Eletrodo	Eletrodos Particionados			
	Único	1	2	3	4
Custo Hora máquina EDM	R\$ 7,47	R\$ 3,50	R\$ 4,82	R\$ 2,53	R\$ 3,40
Custo 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 Particionados	NA	R\$ 192,15	R\$ 124,09	R\$ 136,84	R\$ 117,16
Total	R\$ 300,53	R\$ 570,24			

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 13 apresenta o Custo geral dos eletrodos para peças-modelo 1.1 e 1.2 compatibilizando os custos de hora-máquina, homem-hora e materiais. O custo geral do eletrodo único ficou em 49% em relação aos eletrodos particionados.

Tabela 13 – Custo geral dos eletrodos para as peças-modelo 1.1 e 1.2

	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados
Custo HH+HM	R\$ 300,53	R\$ 570,24
Custo matéria prima	R\$ 16,55	R\$ 70,70
Total	R\$ 317,08	R\$ 640,94

Fonte: Próprio Autor.

4.1.2.1 Análise de Confiabilidade da Peça-Modelo 1

Para a análise de confiabilidade foi montada inicialmente a tabela 14 com as etapas do processo e as operações incluídas em cada etapa:

Tabela 14 – Etapas do processo e operações incluídas.

Item	Etapas	Operações incluídas
1	Gerar modelamento 3D dos eletrodos	Estudar o produto
		Analisar na figura onde será necessário utilizar a eletroerosão
		Decidir quantidade de eletrodos
		Gerar o modelamento 3D dos eletrodos
2	<i>Setup</i> do eletrodo	Selecionar pontos de referências
		Selecionar melhor vista para mostrar detalhes a serem erodidos da peça
		Dimensionar o eletrodo
		Cotar <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 programa	Simular programa
5	Preparar e usinar eletrodo	Analisar desenho do eletrodo e do <i>setup</i>
		Serrar matéria prima
		Alinhar/centralizar morsa/dispositivo de fixação
		Fixar matéria prima
		Fixar ferramenta e verificar batimento
		Usinar esquadro
		Baixar o programa CNC e iniciar 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
		Identificar o centro da peça e posicionar as coordenadas conforme <i>setup</i>
		Programar a usinagem
		Montar o sistema de lavagem conforme a necessidade
		Pintar a área a ser erodida com tinta apropriada para servir de referência
		Começar a erosão
		Verificar se a posição está correta
		Erodir
		Verificar possibilidade de melhorar o rendimento da erosão
		Terminando a erosão checar se há concordância com a superfície da figura/ <i>Setup</i> em Z

Fonte: Próprio Autor.

A partir Tabela 14 já estabelecida as fronteiras entre as etapas, foi montada o quadro FMEA do processo de projeto, fabricação e utilização do eletrodo, mapeando os possíveis riscos, obtidos através dos formulários de não conformidade da ferramentaria utilizada neste estudo, do período de 2009 a 2011, existentes entre cada etapa, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Quadro FMEA

ETAPAS	MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR
Gerar modelamento 3D dos eletrodos	Eletrodo danificado	Eletrodo quebra durante manuseio	Falta Rigidez no eletrodo	7	1	1	7
		Eletrodo desalinhado, peça fora de especificação	Falta local para alinhar o eletrodo	8	1	3	24
		Eletrodo não tem como ser fixado na EDM	O eletrodo não tem local para rosca de fixação da haste	8	1	1	8

		Peça erodida fora de especificação	O modelamento do eletrodo em relação do produto não está correto	9	6	1	54
		Usinagem do eletrodo errada	O modelamento (matemática) do eletrodo não está correto	9	6	3	162
Setup do eletrodo	Peça danificada	Peça erodida fora de especificação	Cotas com referência erradas	8	2	5	80
		Peça erodida fora de especificação	O desenho do setup não facilita o entendimento do detalhe da erosão	7	4	3	84
		Peça erodida fora de especificação	O setup não enfatiza os detalhes a ser erodido	6	6	3	108
Gerar programa CNC	Peça danificada	Eletrodo usinado fora de especificação	A forma do eletrodo está diferente do detalhe a ser erodido	9	2	2	36
		Eletrodo usinado fora de especificação	Definição da estratégia de usinagem incorreta	7	2	2	28
		Eletrodo usinado fora de especificação	O diâmetro da fresa utilizada na usinagem é diferente da fresa utilizada no programa CNC	8	3	3	72
Simular programa	Peça danificada	Eletrodo usinado fora de especificação	O modelamento não está OK	9	1	1	9
		Eletrodo usinado fora de especificação	O programa não está OK	9	1	1	9
Preparar e usar eletrodo	Peça danificada	A fixação está incorreta	Eletrodo sem espaço para rosca	7	1	1	7
		Erosão fora da posição	O sistema de fixação não está alinhado / centralizado	9	2	5	90
		Geometria do eletrodo fora de especificação	O batimento da ferramenta não foi verificado	9	7	6	378
		Peça com dimensional fora da tolerância	Variação da máquina EDM	9	5	3	135

Preparar máquina para erodir	Peça danificada	Eletrodo erodindo fora do esquadro	O eletrodo não está alinhado devido a falta de atenção do operador	9	4	6	216
	Peça danificada	Eletrodo erodindo fora das coordenadas	O <i>Setup</i> está incorreto?	9	5	6	270
	Custo elevado	Tempo elevado de erosão / desgaste excessivo do eletrodo	Os parâmetros estão incorretos	3	4	6	72
	Peça danificada	Surgimento de carvão	A lavagem não é satisfatória	5	4	3	60
	Custo elevado	Tempo elevado de erosão	A remoção não está otimizada	4	7	5	140
	Peça danificada	Falta informação para definição do Z	Além do Z do <i>setup</i> , existe referência na superfície da peça?	5	2	3	30

Fonte: Próprio Autor.

Conforme resultado da Tabela 15, é mostrado um resumo dos itens avaliados com NPR, Número de Prioridade de Risco, mais elevados na Tabela 16.

Tabela 16 – NPR mais elevados.

ETAPAS	DE MODO FALHA	EFEITO	CAUSA	SEVERIDADE	OCORRENCIA	DETECÇÃO	NPR
Preparar e usar eletrodo	Peça danificada	Geometria do eletrodo fora	O batimento da ferramenta não foi verificado	9	7	6	378
Preparar máquina para erodir	Peça danificada	Eletrodo erodindo fora das coordenadas	O <i>Setup</i> está incorreto?	9	5	6	270
		Eletrodo erodindo fora do esquadro	O eletrodo não está alinhado devido a falta de atenção do operador	9	4	6	216
Gerar modelamento 3D do	Eletrodo danificado	Usinagem do eletrodo fora de especificação	O modelamento (matemática) do eletrodo não está correto	9	6	3	162

eletrodo								
----------	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: Próprio Autor.

O item mais crítico na ferramentaria avaliada é a etapa de preparar e usinar o eletrodo, que obteve um NPR de 378, em seguida foi verificado a etapa de preparar a máquina para erodir, que obteve, com duas causas diferentes, os valores de NPR de 270 e 216. E a quarta maior avaliação foi a operação de gerar o modelamento 3D do eletrodo. Foi verificado que os três itens com maiores valores de NPR, implicam em um custo do retrabalho elevado, devido às peças estarem com o processo de fabricação adiantado.

4.2 Peça-Modelo 2

De posse dos resultados das peças-modelo 1.1 e 1.2, foi verificada a necessidade de levantamento de dados de outra peça teste, com características semelhante à peça-modelo 1, só que com as dimensões 5 vezes maiores. A Figura 35 apresenta a peça-modelo 2.

Figura 35 - Peça-modelo 2 (lado=150mm).



Fonte: Próprio Autor.

4.2.1 Sequenciamento

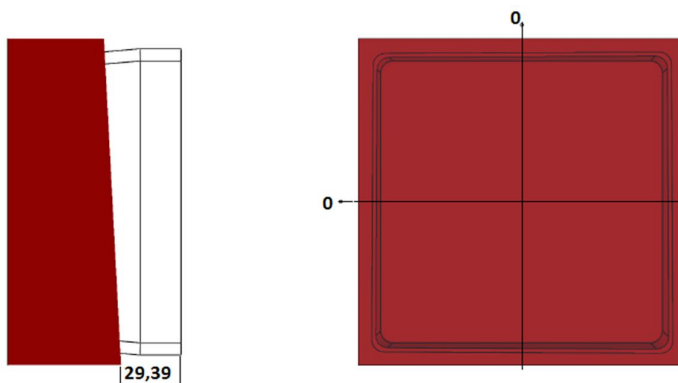
4.2.1.1 Definição e Modelamento da Peça-Modelo 2

A etapa inicial foi dimensionar a peça-modelo 2 com o rebaixo semelhante ao da peça modelo 1, nas dimensões de 150 mm de lado. Modelada a peça-modelo 2, foram feitas a programação, através do CAM, e a usinagem, onde foi utilizada uma fresa com pastilha com diâmetro de 25mm para esquadreamento da peça e fresa esférica de metal duro, com diâmetro de 10mm, para desbaste e acabamento. Desta forma, o raio obtido pela fresa foi de 5mm no detalhe onde se deseja deixar em “canto vivo”.

4.2.1.2 Definição e Geração do Modelamento 3D dos eletrodos

Foi utilizado o *software* de CAD para serem gerados os modelamentos 3D dos 5 eletrodos. O primeiro eletrodo, um único que erode todos os lados da peça-modelo 2.1, conforme mostra a Figura 36.

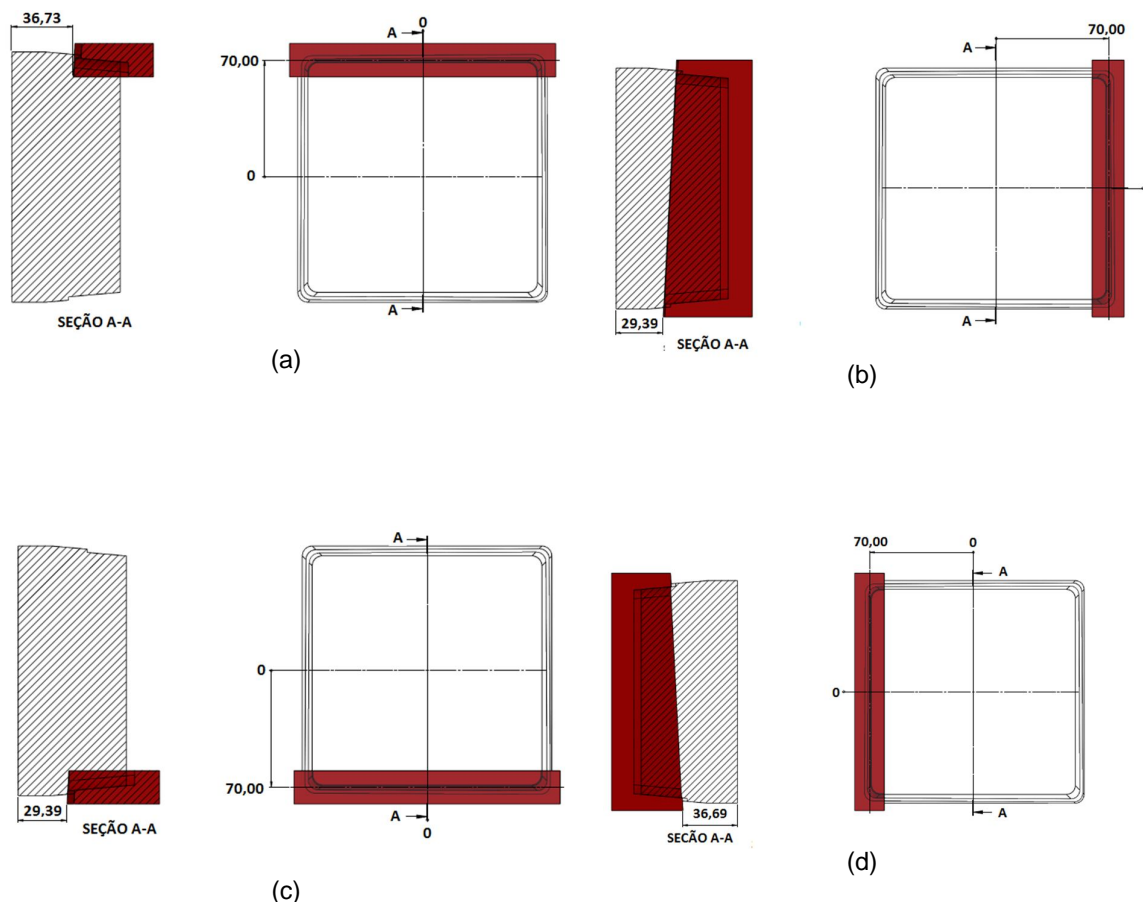
Figura 36 – *Setup* do eletrodo único utilizado na Peça-modelo 2.1.



Fonte: Próprio Autor.

Os outros 4 eletrodos eram menores, subdivididos e complementares entre si, conforme mostra a Figura 37 os *setups* dos eletrodos particionados 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).

Figura 37 – Setups dos eletrodos particionados 1 (a), 2 (b), 3 (c) 3 4 (d) utilizados na Peça-Modelo 2.2.



Fonte: Próprio Autor.

4.2.1.3 Geração de programa CNC, simulação do programa e usinagem do eletrodo

Foram gerados e simulados todos os programas de usinagem referentes aos eletrodos e usinados. Durante todas as etapas foram cronometrados os tempos.

4.2.2 Resultados obtidos

A Tabela 17 mostra os tempos da peça-modelo 2.1 erodida com um único eletrodo e da peça-modelo 2.2 erodida com quatro eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si. O tempo do eletrodo único foi de 76% do tempo total dos quatro eletrodos menores.

Tabela 17 – Levantamento de tempo para peças-modelo 2.1 e 2.2

ETAPAS	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados			
		1	2	3	4
Gerar modelamento 3D do eletrodo	0:05:00	0:04:00	0:02:00	0:03:00	0:03:00
Setup do eletrodo	0:04:00	0:05:00	0:04:00	0:04:00	0:05:00
Programa de CNC	0:09:00	0:03:00	0:08:00	0:05:00	0:07:00
Simulação do programa eletrodo	0:04:00	0:08:00	0:05:00	0:09:00	0:09:00
Usinagem do eletrodo	11:37:00	3:25:00	3:15:00	3:27:00	3:20:00
Preparação da eletroerosão	0:18:00	0:10:00	0:07:00	0:10:00	0:05:00
Acompanhamento	0:28:00	0:30:00	0:25:00	0:18:00	0:10:00
Erosão do eletrodo	2:16:00	0:46:00	0:42:00	0:48:00	0:39:00
Sub-Total Eletrodos Particionados	NA	5:11:00	4:48:00	5:04:00	4:38:00
Total	15:01:00	19:41:00			

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 18 apresenta o custo com matéria prima. O custo dos eletrodos menores ficou 41% menor em relação ao eletrodo único.

Tabela 18 – Custo com matéria prima dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2

	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados			
		1	2	3	4
Comprimento (mm)	175	178	170	178	168
Largura (mm)	175	30	30	28	30
Altura (mm)	85	84	70	81	64
Volume (mm ³)	2.603.125	448.560	357.000	403.704	322.560
Sub Total Eletrodos Particionados	NA	R\$ 70,82	R\$ 56,36	R\$ 63,73	R\$ 50,92
Total	R\$ 410,97	R\$ 241,83			

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 19 apresenta o custo com hora-máquina e homem-hora. Em relação a hora-máquina e homem-hora o custo do eletrodo único foi de 16,4% menor que o custo total dos quatro eletrodos menores.

Tabela 19 – Levantamento de custo dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2

CUSTO	Eletrodo Único	Eletrodo Particionados			
		1	2	3	4
Custo Hora máquina EDM	R\$ 158,67	R\$ 53,67	R\$ 49,00	R\$ 56,00	R\$ 45,50
Custo Hora máquina Centro de Usinagem	R\$ 1.161,67	R\$ 341,67	R\$ 325,00	R\$ 345,00	R\$ 333,33
Estagiário	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 0,67	R\$ 0,78	R\$ 0,89
Programador	R\$ 12,35	R\$ 10,45	R\$ 12,35	R\$ 13,30	R\$ 15,20
Operador centro de usinagem	R\$ 353,15	R\$ 103,87	R\$ 98,80	R\$ 104,88	R\$ 101,33
Operador eletroerosão	R\$ 36,58	R\$ 13,30	R\$ 11,64	R\$ 13,78	R\$ 10,45
Sub Total Eletrodos Particionados	NA	R\$ 523,95	R\$ 497,45	R\$ 533,73	R\$ 506,71
Total	R\$ 1.723,41	R\$ 2.061,84			

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 20 apresenta o Custo geral dos eletrodos para peça-modelo 2. Em relação ao custo geral, o custo do eletrodo único foi de 7% menor que o custo dos eletrodos particionados.

Tabela 20 – Custo geral dos eletrodos para peças-modelo 2.1 e 2.2

	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados
Custo HH+HM	R\$ 1.723,41	R\$ 2.061,84
Custo matéria prima	R\$ 410,97	241,83
Total	R\$ 2.134,38	R\$ 2.303,67

Fonte: Próprio Autor.

4.2.2.1 Análise da Confiabilidade das Peças-Modelo 2

Para a análise de confiabilidade foi utilizada a tabela 15 com as etapas do processo e as operações incluídas seguindo a mesma metodologia de análise da peça-modelo 1, devido a que o processo de desenvolvimento dos eletrodos é

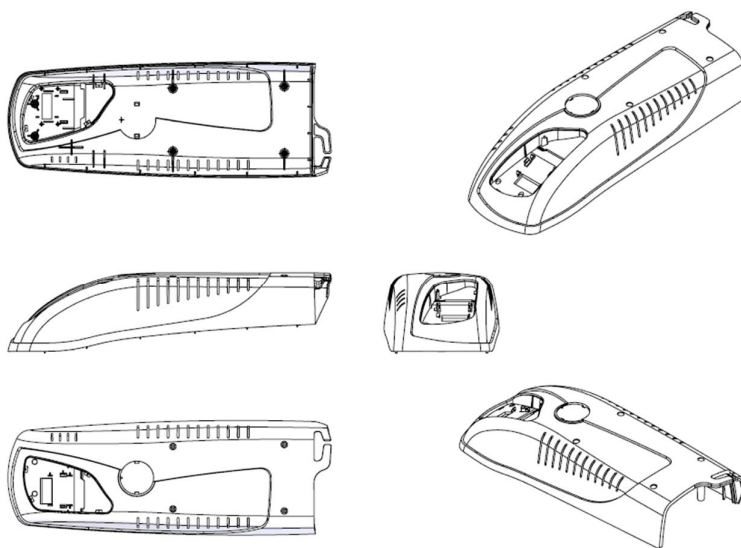
semelhante, correndo os mesmos riscos, com as mesmas quantidades de eletrodos, variando apenas as dimensões dos eletrodos.

4.3 Estudo de Caso

4.3.1 Sequenciamento

Para a validação deste método, foi selecionado um eletrodo utilizado na fabricação de um molde de No Break. A Figura 38 mostra a peça a ser produzida por um molde de injeção.

Figura 38 – Produto real para validação do método.



Fonte: Próprio Autor.

4.3.1.1 Definição e Modelamento

Este detalhe do molde foi erodido com apenas um eletrodo, apresentado na Figura 39, e foi aplicado o método para verificar se esta foi a melhor opção. 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 estimados através do CAM.

Figura 39 – Eletrodo utilizado.

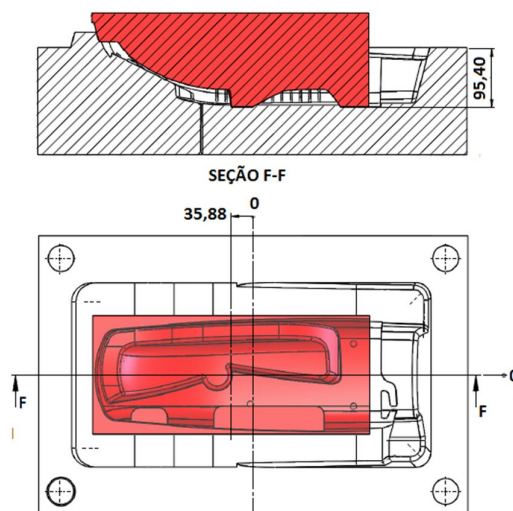


Fonte: Próprio Autor.

4.3.1.2 Definição e Geração do Modelamento 3D dos Eletrodos

Foram modelados e definidos um eletrodo único e os seis eletrodos particionados. A Figura 40 apresenta o eletrodo único.

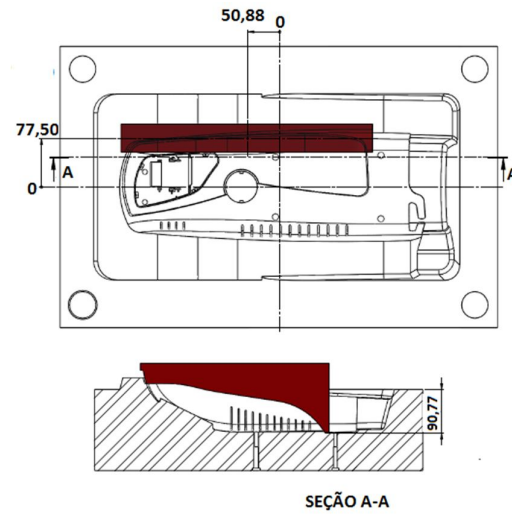
Figura 40 – Setup do Eletrodo único.



Fonte: Próprio Autor.

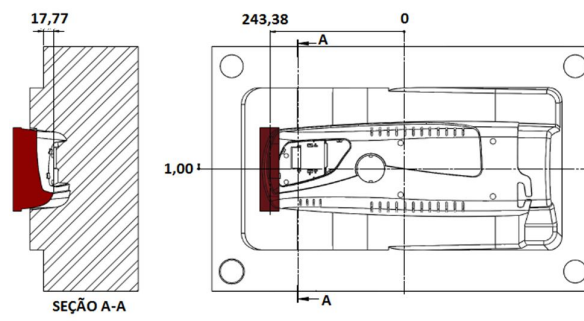
A figura 41 apresenta um dos eletrodos particionados 1. A Figura 42 apresenta o eletrodo particionado 2. A Figura 43 apresenta o eletrodo particionado 3. A Figura 44 apresenta o eletrodo particionado 4. A Figura 45 apresenta o eletrodo particionado 5. A Figura 46 apresenta o eletrodo particionado 6.

Figura 41 – *Setup* do Eletrodo particionado 1.



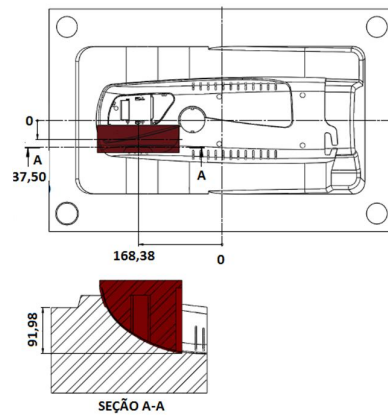
Fonte: Próprio Autor.

Figura 42 – *Setup* do Eletrodo particionado 2.



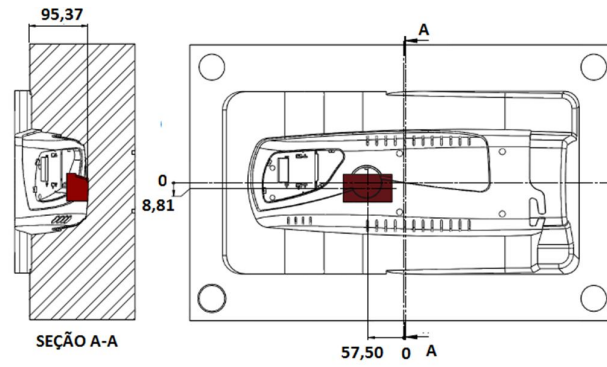
Fonte: Próprio Autor.

Figura 43 – *Setup* do Eletrodo particionado 3.



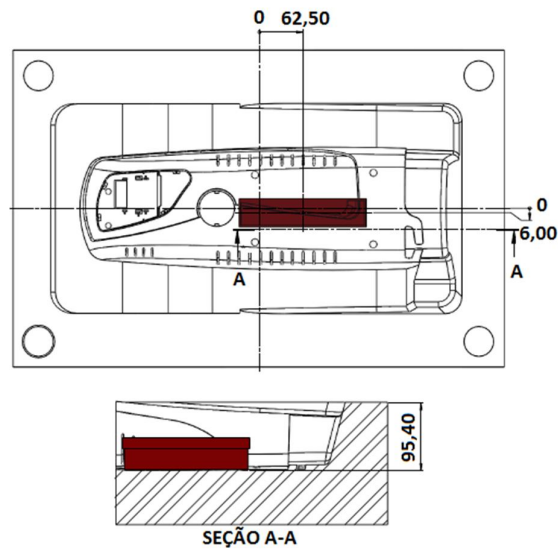
Fonte: Próprio Autor.

Figura 44 – Setup do Eletrodo particionado 4.



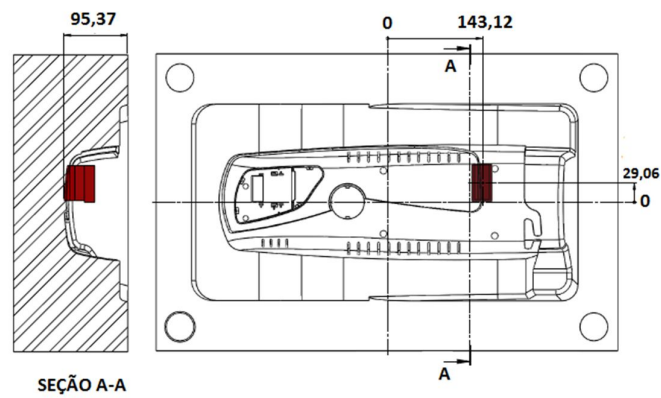
Fonte: Próprio Autor.

Figura 45 – Setup do Eletrodo particionado 5.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 46 – Setup do Eletrodo particionado 6.



Fonte: Próprio Autor.

4.3.1.3 Geração do Programa CNC, Simulação do Programa e Usinagem dos Eletrodos

Foram gerados e simulados todos os programas de usinagem referente aos eletrodos e anotados os tempos de usinagem estimados no *software* CAM.

4.3.2 Resultados Obtidos

A Tabela 21 apresenta os tempos de fabricação dos eletrodos. O tempo dos eletrodos particionados foi de 17% menor que o tempo do eletrodo único.

Tabela 21 – Tabela dos Tempos de Fabricação dos eletrodos para peça real.

TEMPO	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados					
		1	2	3	4	5	6
Usinagem do eletrodo (tempo estimado retirado do CAM)	23:30:56	8:22:04	2:41:58	4:30:39	1:00:52	02:02:44	00:49:39
Sub total eletrodos particionados	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					

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 22 apresenta o custo de material. O custo com a matéria prima dos eletrodos particionados representa 64% menor em relação ao eletrodo único.

Tabela 22 – Custo com matéria prima dos eletrodos para peça real

Dimensões da matéria prima	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados					
		1	2	3	4	5	6
Comprimento	480	410	162	175	90	190	165
Largura	210	160	85	165	47	60	58
Altura	200	55	45	65	55	50	40
Volume	20.160.000	3.608.000	619.650	1.876.875	232.650	570.000	382.800
Subtotal do Custo dos eletrodos particionados	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					

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 23 apresenta os valores de hora-máquina e homem-hora. O custo de hora-máquina e homem-hora dos eletrodos particionados foi de 24% menor que o eletrodo único.

Tabela 23 – Levantamento de custo HM e HH

CUSTO	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados					
		1	2	3	4	5	6
Custo Hora máquina EDM	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0
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
Estagiário	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Programador	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
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
Operador eletroerosão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Subtotal Eletrodos Particionados	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					

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 24 apresenta o custo geral dos eletrodos. O custo geral dos eletrodos particionados foi 44% menor que o custo do eletrodo único.

Tabela 24 – Custo geral dos eletrodos (HM, HH e Matéria prima)

	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados
Custo HH+HM	R\$ 3.066,43	R\$ 2.333,75
Custo matéria prima	R\$ 3.182,76	R\$ 1.150,90
Total	R\$ 6.249,19	R\$ 3.484,65

Fonte: Próprio Autor.

4.3.2.1 Análise da Confiabilidade da Erosão do Detalhe

Foi utilizada a tabela de confiabilidade das peças-modelo 1.1 e 1.2. Porém, esta peça tem uma importância significativa no produto, devido à mesma ser uma peça técnica e estética, pois está na parte mais visível do produto além de fazer parte de um conjunto com mais 6 peças.

4.4 Resumo dos Resultados

A Tabela 25 apresenta o resultado do experimento das peças-modelo 1.1 e 1.2:

Tabela 25 – Resultado do experimento das peças-modelo 1.1 e 1.2

Item	Descrição	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados	% do eletrodo único em relação aos eletrodos menores
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%

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 26 apresenta o resultado do experimento das peças-modelo 2.1 e 2.2:

Tabela 26– Resultado do experimento das peças-modelo 2.1 e 2.2

Item	Descrição	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados	% do eletrodo único em relação aos eletrodos menores
1	Tempo	15:01:00	19:41:00	76%
2	Custo Matéria prima	R\$ 410,97	R\$ 241,83	170%
3	Custo HM+HH	R\$ 1.723,41	R\$ 2.061,84	84%
4	Custo Geral	R\$ 2.134,38	R\$ 2.303,67	93%

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 27 apresenta o resultado do experimento da peça do estudo de caso:

Tabela 27 – Resultado do estudo de caso

Item	Descrição	Eletrodo Único	Eletrodos Particionados	% dos eletrodos menores em relação ao eletrodo único
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	26%

Fonte: Próprio Autor.

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO NOS EXPERIMENTOS E NO ESTUDO DE CASO

Com as informações, de tempo, custo, confiabilidade e características geométricas obtidas das peças-modelo, e com a utilização do método para tomada de decisão, chegou-se ao resultado mostrado nas Tabelas 29, 30 e 31. Os pesos dados para Qualidade, Prazo e Custo foram respectivamente 10, 9 e 8. Estes pesos foram obtidos baseados na política da ferramentaria onde foram realizados os experimentos e o estudo de caso desta dissertação que prioriza inicialmente a qualidade do produto, depois o prazo de entrega e por fim o custo de fabricação. A Tabela 28 mostra a avaliação da peça-modelo 1, evidenciando a recomendação para o eletrodo único.

Tabela 28 – Avaliação do resultado do experimento (Peças-Modelo 1.1 e 1.2)

Tipo de leiaute de Eletrodo	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 (usinagem) na máquina EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	Confiabilidade	Habilidade do Operador	Peça Estética/Técnica X Comum	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA		
ÚNICO	5	5	5	40	5	3	5	4,3	39	5	3	3	3,7	37	116	1,00
PARTICIONADOS	1	1	1	8	1	5	3	3	27	3	1	3	2,3	23	58	0,50

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 29 apresenta a avaliação da peça modelo 2. Conforme resultado do método de tomada de decisão para as peças-modelo 2.1 e 2.2, a melhor opção foi o eletrodo único.

Tabela 29 – Avaliação do Resultado do experimento (Peças-Modelo 2.1 e 2.2)

Tipo de leiaute de Eletrodo	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 (usinagem) na máquina EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	Confiabilidade	Habilidade do Operador	Peça Estética/Técnica X Comum	MÉDIA			MÉDIA PONDERADA
ÚNICO	1	5	3	24	5	3	5	4,3	39	5	3	3	3,7	37	100	1,00
PARTICIONADOS	5	3	4	32	1	5	3	3	27	3	1	3	2,3	23	82	0,82

Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 30 apresenta a avaliação do estudo de caso com a peça real. Foi verificado que nos experimentos com as peças-modelos 1 e 2, o método de tomada de decisão indica que o eletrodo único é o mais apropriado, com menor prazo para execução do processo, melhor custo e com uma confiabilidade mapeada. No estudo de caso com a peça real, foi verificado que se considerássemos apenas o custo, o eletrodo particionado era a opção recomendada, porém, avaliando juntamente com o prazo, e a qualidade, foi verificado que o resultado indica a utilização do eletrodo único.

Tabela 30 – Avaliação do Resultado do estudo de caso (Peça Real).

Tipo de leiaute de Eletrodo	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 (usinagem) na máquina EDM	PREPARAÇÃO DE MÁQUINA	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA	Confiabilidade	Habilidade do Operador	Peça Estética/Técnica X Comum	MÉDIA	MÉDIA PONDERADA		
ÚNICO	1	1	1	8	3	3	5	3,7	33	5	5	5	5	50	91	1,00
PARTICIONADOS	5	5	5	40	5	3	1	3	27	1	1	1	1	10	77	0,85

Fonte: Próprio Autor.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

6.1 CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi propor um método de tomada de decisão que auxiliasse no planejamento do projeto dos eletrodos para emprego na fabricação de moldes de injeção.

Visando este objetivo, este trabalho foi focado na análise do prazo (tempo), do custo e da qualidade (confiabilidade do processo), podendo-se concluir que no que se refere à análise do tempo:

- A estratégia de comparar o tempo de usinagem de um eletrodo e o tempo de usinagem de vários eletrodos, para erodir o mesmo volume, fornecido pela estimativa do *software* CAM, apresenta de forma sistêmica qual a opção mais viável de modo objetivo, rápido e com custo baixo.

No que se refere à análise do custo:

- A opção de utilizar o tempo de usinagem através do CAM para ter uma estimativa do custo de hora-máquina e hora-homem, para obter uma projeção dos custos de um ou vários eletrodos de modo objetivo, rápido e com baixo custo;
- A obtenção do custo do material através da comparação do volume de um eletrodo e do somatório dos volumes de vários eletrodos é um modo objetivo, rápido e com baixo custo;

No que se refere à análise de confiabilidade:

- A utilização de uma planilha FMEA, mapeando todas as etapas de desenvolvimento do eletrodo, visando calcular o número de probabilidade de risco, baseando-se no número de não conformidade de cada ferramentaria a ser utilizado este método, é um modo, após ter sido elaborada a planilha FMEA, objetivo, rápido e com baixo custo, além da possibilidade de melhorar continuamente este processo detectando e reduzindo os riscos existentes nas diversas etapas;

No que se refere ao método de tomada de decisão:

- A utilização do método de tomada de decisão, principalmente após a validação através da pesquisa de campo com a ajuda de experientes

profissionais que lidam diretamente com o processo de fresamento e de eletroerosão, torna este processo objetivo, rápido e com baixo custo.

Portanto, no processo de desenvolvimento de moldes de injeção, custo, qualidade e prazo são aspectos importantes para a sobrevivência dos fabricantes de moldes. Quando se desenvolve um método para auxiliar na tomada de decisão dos técnicos e engenheiros, durante a etapa de planejamento, se consegue reduzir custos e melhorar os prazos de entrega, tornando a empresa fabricante de molde mais competitiva.

O presente trabalho demonstra que simulando o tempo de usinagem e levantando o custo do material, se obtém o custo aproximado de cada opção. Com o mapeamento dos riscos nas etapas de projeto e fabricação do eletrodo, é verificada qual a etapa mais susceptível a erro. Com a comparação do custo e sabendo onde se corre mais risco, e conhecendo-se as características daquele produto, a tomada de decisão fica mais fácil de justificar.

Nos experimentos foi observado que para peças de pequeno porte, peças-modelo 1.1 e 1.2, o indicado é fabricar eletrodo único, onde os custos são reduzidos e com as etapas de fabricação de apenas um eletrodo o risco é menor. Para as peças de médio porte, peças-modelo 2.1 e 2.2, foi verificado que embora a variação entre as duas opções seja pequena, novamente sugere-se pela opção de fabricar apenas um eletrodo, pois a diferença do custo justifica-se pelo menor risco a ser exposto.

No estudo de caso real, foi verificado que o custo de fabricar 6 eletrodos pequenos ficaria 56% do custo de apenas um eletrodo grande. O item que impactou bastante esta avaliação foi o custo da matéria prima do eletrodo. O custo de fabricar 6 eletrodos pequenos ficou em 36% em relação ao material para usinar o eletrodo único grande. Isto aconteceu devido a característica do produto, que diferente do caso da peças-modelo 2.1 e 2.2, tinha uma superfície extensa a ser erodida, embora os volumes dos eletrodos fossem pequenos.

Portanto foi observado que com este método é possível estimar o custo de cada situação, e mapear qual a etapa com mais risco de não conformidade, porém, devido a cada produto ter suas próprias características e especificações, a definição de qual a melhor opção, mesmo com a ajuda deste método, ainda será feita com a experiência dos técnicos e engenheiros envolvidos.

6.2 Sugestões para futuras investigações

- ✓ Estudo de método mais robusto para levantamento de custo baseado na taxa de remoção do processo de eletroerosão;
- ✓ Desenvolver método para análise de processo de eletroerosão por penetração em geometrias que imponham dificuldades no acesso do fluido dielétrico para a lavagem da fenda de trabalho;
- ✓ Desenvolver uma análise comparativa dos tempos obtidos através do CAM e dos tempos obtidos em centros de usinagem, usinando em vazio, para um mesmo processo de usinagem de eletrodos;
- ✓ Estudo sobre a possibilidade de integração da ferramenta de tomada de decisão com um *software* de CAD/CAM.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **O Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico** 2010. < http://www.abiplast.org.br/upload/File/2011/PERFIL_2010.pdf >. Acesso em: 22 dez. 2011.

ALVES, R. M.; **Estudo da Aplicação do FMEA nos Projetos de uma Empresa de Instalações de Britagem de Agregados para Construção Civil**. Ouro Preto, 2008. Trabalho de Graduação. Universidade Federal de Ouro Preto.

AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Apostila. Universidade Federal de São Carlos, 2006.

AMORIM, F.; **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, 2002, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina.

AMORIM, F.; WEINGAERTNER, W. L.; **Die-Sinking Electrical Discharge Machining of a High-Strength Copper- Based Alloy for Injection Molds**. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, April-June 2004, Vol. XXVI, No. 2 p. 137-144, 2004. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782004000200004&lng=en&nrm=iso >. Acesso em 18 out. 2011.

BARETA, D. R.; **Estudo Comparativo e Experimental de Materiais Aplicados a Insertos Macho de Moldes de Injeção dentro do Conceito de Molde Híbrido**. Caxias do Sul, 2007, Dissertação (Mestrado em Materiais). Universidade de Caxias do Sul.

CARVALHO, C. M.; **Moldes importados já detêm 70% da demanda**. *Revista Plástico Moderno*, fev.2012. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/plastico/reportagem.php?rrid=847&rppagina=2>>. Acesso em 23 abr. 2012.

CAVALHEIRO, A.; **Sistematização do Planejamento da Programação Via CAM do Fresamento de Cavidades de Moldes para Peças Injetadas**, Florianópolis, 1988, 197f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.

DIAS, K. P.; **Proposta de um Modelo para a Gestão do Conhecimento no Projeto de Moldes de Injeção**. Florianópolis, 2008, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.

FERNANDES, J. M. R.; **Proposição de Abordagem Integrada de Métodos da Qualidade Baseada no FMEA**. Curitiba, 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas). Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

FERREIRA, C. V. **Metodologia para as Fases de Projeto Informacional e Conceitual de Componentes de Plásticos Injetados Integrando os Processos de Projeto e Estimativa de Custos**. Florianópolis, 2002, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.

FONDA, P.; WANG, Z.; YAMAZAKI, K.; AKUTSU, Y.: **A fundamental study on Ti-6Al-4V's thermal and electrical properties and their relation to EDM productivity**. Artigo do journal of materials processing technology 202 (2008) 583-589. Disponível em: < <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=20367413> >. Acesso em 15 dez. 2011.

GAMA, C.; **Contribuições ao Processo Orçamentário de Moldes: Estudo de Caso em uma Ferramentaria com a Implantação de uma Ferramenta Computacional**. Joinville, 2009, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Instituto Superior Tupy.

GARCIA, M. C. R.; **Fundamentos de Projeto de Ferramentas – Moldes de Injeção para Termoplásticos**. Sapucaia do Sul, 2008, Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas.

GOMES, J.; VALLEJOS, R.; **Avaliação de desempenho técnico-administrativo: uma alternativa para a melhoria da competitividade**. Revista Ferramental, p.11-15, set-out.2005. Disponível em: < http://nucleodoplastico.com/news/Metodologia_Avaliacaode_2pg11.pdf >. Acesso em 18 out. 2011.

GUITRAU, E. B.; **The EDM Handbook**. 1997

HARADA, J.; **1948 –Moldagem por injeção – Projetos e Princípios Básicos**. São Paulo, Medialdéa, 1991.

HARADA, J.; **A Importância do Projeto de Moldes para Injeção de Termoplásticos**. São Paulo, 2006, Artigo, Revista Ferramental.

HARADA, J.; **Moldes para Injeção de Termoplásticos**. São Paulo. Editora Artliber, 2004.

HELLENO, A. L.; **Usinagem de Moldes e Matrizes com Velocidades na Faixa de Transição para HSC (High Speed Cutting)**. Santa Bárbara d'Oeste, 2001. Trabalho de Graduação. Universidade Metodista de Piracicaba.

JOSHI, S. N.; PANDE, S. S.; **Thermo-physical modeling of die-sinking EDM process**. Artigo do Journal of Manufacturing Processes. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612510000198> >. Acesso em 12 dez. 2011.

KONIG, W.; **"Advanced ceramics - sparks machine ceramics"**, pmi, vol. 23, no.2, pp.96-100, 1991

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **"Fertigungsverfahren - 3: Abtragen und Generieren"**, Springer, Berlin, 1997

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **The Electrical Machining Processes – What Demands will they Face in the Future**. International Journal of Electrical Machining, vol. 1, pp. 3-7, Japan, 1996.

KRATOCHVIL, R.; **Fresamento de Acabamento em altas Velocidades de Corte para eletrodo de Grafita Industrial**. Florianópolis, 2004, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.

LEONARDIS, E. A.; **Projeto de Moldes de Injeção**. Apostila. Biblioteca Politek Tecnologia. 1997.

LEONARDIS, E. A.; **Projeto de Produtos**. Apostila. Biblioteca Politek Tecnologia.1997.

LIM, T; RITCHIE, J; COURNEY, J; CLARK, D.. Optimising Automatic Tool Selection for 21/2d Components. **ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. Baltimore, 2000.

MAIER, F.; **Estudo de Implementação da Teoria das Restrições ao Gerenciamento de Projetos em uma Ferramentaria de Moldes de Injeção de Plástico**. Joinville, 2007, Dissertação, (Graduação em Engenharia), Universidade Estadual de Santa Catarina.

MARTIN, A; et al. Prospecção tecnológica sobre fabricação de moldes de injeção de plásticos. **Anais do III Workshop de Inteligência Competitiva - KMBrasil 2002**, outubro.2002. < http://www.abraic.org.br/V2/periodicos_teses/i_a101.pdf >. Acesso em 18 out. 2011.

MERCER, J. ; **Electrode Material Effect on CNC EDM, Part 2.** Artigo do Moldmaking Technology. Disponível em: < <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/electrode-material-effect-on-cnc-edm-part-2> >. Acesso em 02 mar. 2012.

MERCER, J.; **Electrode Material Effect on CNC EDM, Part 1.** Artigo do Moldmaking Technology. Disponível em: < <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/electrode-material-effect-on-cnc-edm-part-1> >. Acesso em 02 mar. 2012.

MÜLLER, H. **Beitrag zur klärung funkenerosivervogänge. Elektrowärme,** Deutschland, v.23, n.3 1965.

OLIVEIRA, A.; **Programação de Estratégias de Fresamento a Altas Velocidades (HSM) na Manufatura de Moldes e Matrizes Através de Sistemas CAM,** Florianópolis, 2002, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina.

PEDERSON, D.; **Changes to Electrode Material And EDM Program Yield Increased Throughput.** Artigo do Moldmaking Technology. Disponível em: < <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/changes-to-electrode-material-and-edm-program-yield-increased-throughput> >. Acesso em 02 mar. 2012.

RAMOS, C. A. D.; MACHADO, A. R.; **Usinagem de Moldes e Matrizes.** 2005. Disponível em: www.ifm.org.br/fase1/congresso/inscritos/teste2.php?id_trabalho=544. Acessado em: 05/05/2012.

REES, H.; **Mold Engineering.** SPE, Hansen/Gardner Publications, Inc, 1995.

REES. H.; **Product Designer Injection Molding,** Hanser Unders Molding Books, 1996.

RESENDE, M. ; GOMES, J. ; Competitividade e Potencial de Crescimento do Cluster de Moldes para a Indústria do Plástico de Joinville. Belo Horizonte, **Nova Economia,** p. 67-104, jan-abr. 2004. Disponível em: < <http://www.face.ufmg.br/novaeconomia/sumarios/v14n1/Resende.pdf> >. Acesso em 18 out. 2011.

RIBEIRO, L.S.; **Evolução Tecnológica e Automação das Máquinas Injetoras.** São Paulo, 2009, Monografia (Graduação em Tecnologia em Produção). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste.

SACCHELLI, C. M.; **Sistematização do Processo de Desenvolvimento Integrado de Moldes de Injeção de Termoplásticos**. Florianópolis, 2007. Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

SAKURADA, E. Y.; **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Florianópolis, SC, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina.

SANDVIK, 2000, Pesquisa Acelera e dá Tom de Modernidade à Usinagem, **O mundo da usinagem**, vol 2, Publicação da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil. São Paulo, S.P.

SANDVIK, Guia de Aplicação – **Fabricação de Moldes e Matrizes**,1999.

SANTOS, I.; **Análise dos Parâmetros de Entrada na Eletroerosão de Penetração da Liga de Titânio TI-6AL-4V**. Curitiba, 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SANTOS, R, F.; **Influência do Material da Peça e do Tratamento Térmico na Eletroerosão dos Aços AISI H13 e AISI D6**. Belo Horizonte, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Católica de Minas Gerais.

SILVA, E. R.; **Comparação do Desempenho do Fluido Dielétrico Vegetal com Material Sintético e Querosene na Eletroerosão do Aço AISI H13**. Belo Horizonte, 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

SILVA, N.; **Usinagem de Furos de Pequenos Diâmetros na Liga de Titânio Ti6Al4V em Máquina de Eletroerosão por Penetração**. Curitiba, 2006, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

SODICK. **Electrical Discharge Power Units**.
<http://www.sodick.jp/tech/discharge.html>. Extraído do site em 10/03/2012.

SOMMER, C; SOMMER, S. **Complete EDM Handbook**. 2007

TARNG, Y. S.; MA, S.C.; CHUNG, L. K. **Determination of optimal cutting parameters in wire electrical discharge machining**. Int. J. mach. Tools Manufact. Vol. 35. No. 12 p. 1693-1701. 1995.

TELLES, I. C. F. S.; **Um Modelo em Rede de Petri para o Sistema Automático de Injeção de uma Máquina Injetora de Plástico**. Rio de Janeiro, 2007, Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

THOMAZI, E.; **Moldes de Injeção**. Caxias do Sul, 2002, Apostila. Universidade de Caxias do Sul.

TODD, R. H.; DELL K.; ALTING L.; **Manufacturing Processes Reference Guide**. Industrial Press Inc., 1994.

VALLEJOS, R. V.; DIHLMANN, C.; Técnicas de controle da produção tornam Ferramentarias mais eficiente. **Revista Plástico Moderno**. 2001.

VASCONCELLOS JR, J. P. C. e MIGUEL, P. A. C.; **Implantação de FMEA em uma empresa de máquinas-ferramenta**. XIX ENEGEP / VII International Congress of Industrial Engineering. Rio de Janeiro – RJ. 1999

WEINERT, K.; GUNTERMANN, G.; **Usinagem de superfícies complexas**. Máquinas e Metais, São Paulo, n. 411, p. 50-60, abr. 2000.

WEINGAERTNER, W. L.; **Tecnologia de Fabricação, Volume 3, Remoção**. Apostila. 1990.

YOUSSEF, H A.; EL-HOFY, H.; **Machining technology: machine tools and operations**. CRC Press. 633p. Flórida. 2008.

ANEXO - PESQUISA DE CAMPO - REDE DE FERRAMENTARIA DO SENAI

Essa pesquisa integra parte prática da dissertação de mestrado cujo tema é Proposição de Método para Definição de Leiaute de Eletrodo, que será apresentada ao Mestrado Profissional em Gestão de Tecnologia Industrial (Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC).

Objetivo da Pesquisa: Validar uma ferramenta para tomada de decisão, através de emprego do questionário junto à profissionais com experiência no processo de planejamento de usinagem por eletroerosão, compreendendo as operações de geração CAD do eletrodo, setup do eletrodo, geração do programa CNC para usinagem do eletrodo, simulação do programa CNC, preparação e usinagem do eletrodo e preparação da máquina para erodir. Para esta validação são considerados o custo, prazos e qualidade final da peça que será erodida.

Solicito, após responder o questionário, enviar para o e-mail solano.silveira@fieb.org.br.

Instruções: São 13 questões relacionadas ao processo citado anteriormente.

CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE ELETRODOS ATRAVÉS DE UMA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA

Solano Cristovão da Silveira

Mestrando – FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

solano.silveira@fieb.org.br

Valter Estevão Beal, Prof. Dr. Eng.

Orientador – FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

valter.beal@fieb.org.br

Guilherme Oliveira de Souza, Prof. Dr. Eng.

Co-orientador – FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

guilherme.souza@fieb.org.br

QUESTIONÁRIO:

Solicito sutileza e dedicação na resolução das questões. Desde já agradeço a disponibilidade de tempo e dedicação para a pesquisa. Grato!

1. Nome e localização da empresa:

--

2. Qual a função do entrevistado e a sua relação com o processo de desenvolvimento dos eletrodos?

--

3. Número total de colaboradores da empresa? (marcar com "X")

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Até 20 | <input type="checkbox"/> 61 a 70 |
| <input type="checkbox"/> 21 a 30 | <input type="checkbox"/> 71 a 80 |
| <input type="checkbox"/> 41 a 50 | <input type="checkbox"/> 81 a 90 |
| <input type="checkbox"/> 51 a 60 | <input type="checkbox"/> mais de 91 |

4. Qual é o principal ramo de atuação? (marcar com "X")

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Automobilístico | <input type="checkbox"/> Agro-industrial |
| <input type="checkbox"/> Informática | <input type="checkbox"/> Utensílios domésticos |
| <input type="checkbox"/> Telecomunicações | <input type="checkbox"/> Outros _____ |
| <input type="checkbox"/> Brinquedos | |

5. É utilizada alguma metodologia no processo de projeto de eletrodo? Qual?

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Sim Qual? _____ |
| <input type="checkbox"/> Não |

6. O processo descrito anteriormente é:

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Formal |
| <input type="checkbox"/> Com base na experiência dos Profissionais |

7. A metodologia utilizada atende às necessidades do dia a dia?

() Sim

() Não

8. A metodologia pode ser melhorada?

() Sim

() Não

9. Caso a metodologia possa ser melhorada? Quais são as etapas que necessitam de melhoramento?

() Extração do eletrodo

() Set up do eletrodo

() Geração do programa CNC

() Simulação do programa

() Preparação e usinagem do eletrodo

() Preparação e erosão da peça

10. Qual o nível de formação do pessoal envolvido no desenvolvimento do projeto e fabricação dos eletrodos? (marcar com "X")

	CAD	CAM	Planejamento do Processo	Fabricação do eletrodo	Erosão da peça
Pós-Graduado					
Universitário					
Técnico					
Segundo Grau					
Outro					

11. É dada alguma prioridade no desenvolvimento do molde? Em que? Coloque por ordem de prioridade. Nº 1 para o mais importante e 4 para o menos importante

() Custo

() Qualidade

() Prazo

() Outros _____

As questões a seguir serão baseadas na seguinte situação:

O produto é uma peça estética que possui um canto vivo ao redor de um detalhe que fica na parte mais visível do produto. As setas indicam as regiões com canto vivo.

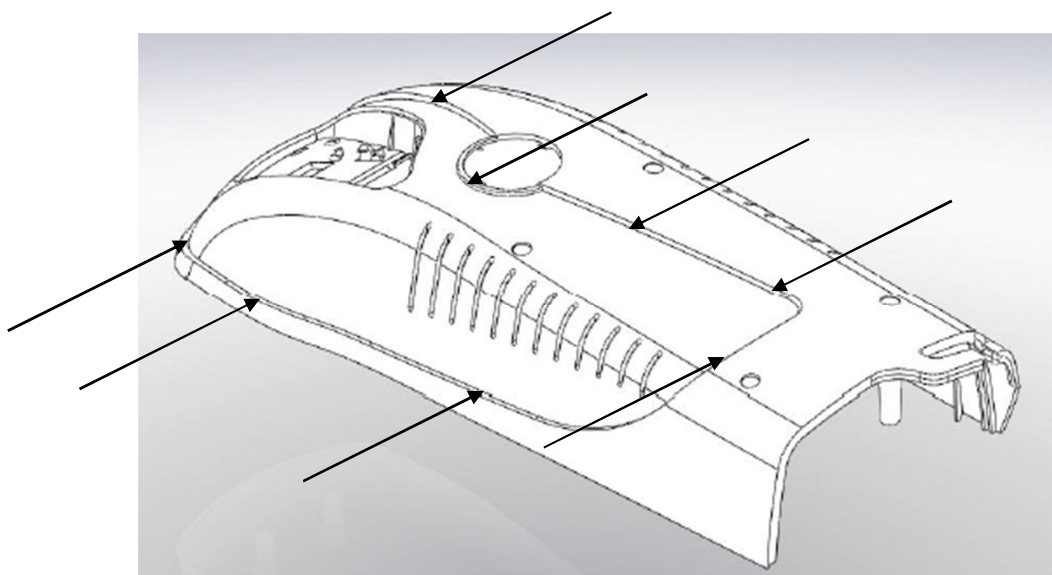
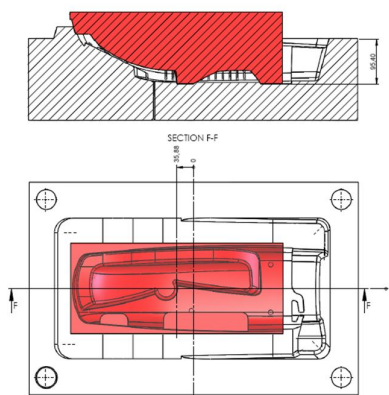


Figura 1 – Produto modelado

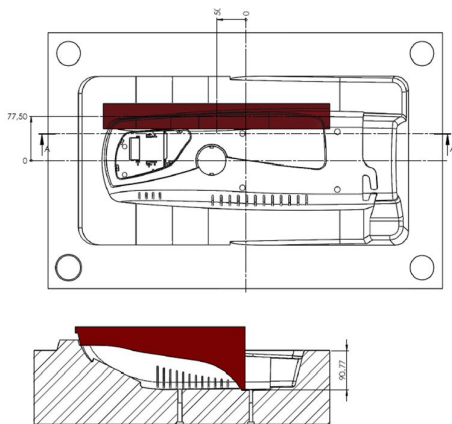
Existe a possibilidade de erodir os cantos vivos com um eletrodo único ou com 6 eletrodos menores, subdivididos e complementares entre si, conforme mostram as figuras abaixo:

Figura 2 – Setup do eletrodo Grande único



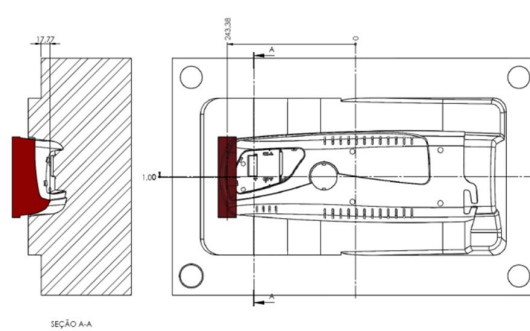
Fonte: Próprio Autor.

Figura 3 – Eletrodo pequeno 1



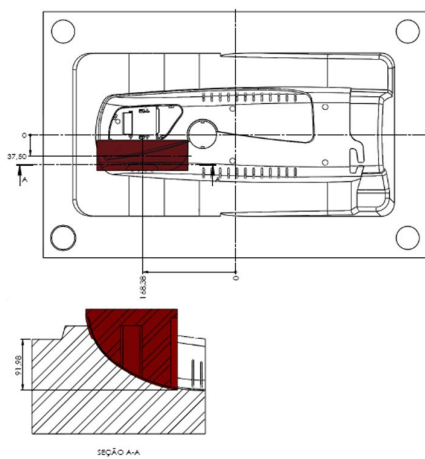
Fonte: Próprio Autor.

Figura 4 – Eletrodo pequeno 2



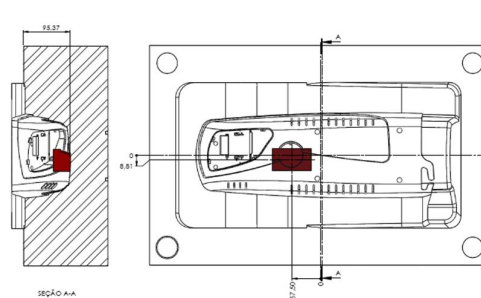
Fonte: Próprio Autor.

Figura 4 – Eletrodo pequeno 3



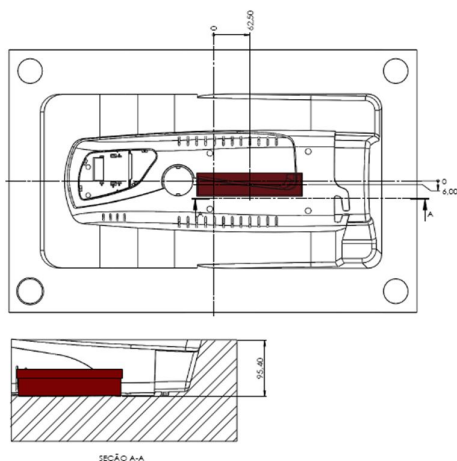
Fonte: Próprio Autor.

Figura 5 – eletrodo pequeno 4



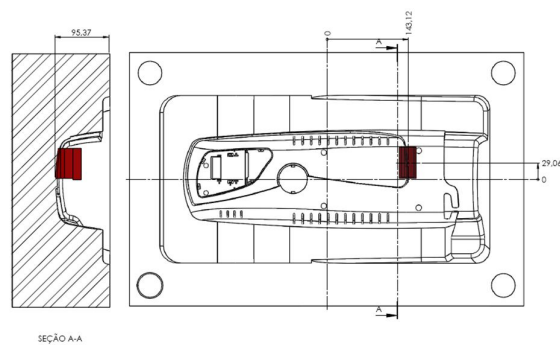
Fonte: Próprio Autor.

Figura 6 – Eletrodo pequeno 5.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 7 – Eletrodo pequeno 6.



Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 1 apresenta os tempos e os custos das duas alternativas:

Tabela 1 – Comparação dos tempos e custos dos eletrodos.

Descrição	Opções de Estratégia:	
	Eletrodo Único	Eletrodos Menores
Tempo	23:30:56	19:27:56
Custo Matéria prima	R\$ 3.182,76	R\$ 1.150,90
Custo HM+HH	R\$ 3.066,43	R\$ 2.333,75
Custo Geral	R\$ 6.249,19	R\$ 3.484,65

Fonte: Próprio Autor.

As informações da Tabela 1 foram colhidas da seguinte forma:

- Os tempos foram obtidos através da simulação da usinagem dos eletrodos no CAM;
- Os custos com os materiais dos eletrodos foram obtidos a partir do modelo CAD dos eletrodos;
- Os custos de hora máquina e homem-hora foram obtidos a partir dos tempos da simulação do CAM;

Orientação para responder a esta questão, sempre comparando 1 eletrodo com 6 eletrodos e verificando os dados da tabela 1:

Tabela 3 – Itens para avaliação

ITEM	
Tempo	Realizar a avaliação baseando-se nos desenhos de setup e na tabela 1
Custo Material	Realizar a avaliação baseando-se nos desenhos de setup e na tabela 1
Custo de Fabricação	Realizar a avaliação baseando-se nos desenhos de setup e na tabela 1
Custo Geral	Realizar a avaliação baseando-se nos desenhos de setup e na tabela 1
Confiabilidade do processo da sua ferramentaria	Verificar na sua ferramentaria, no projeto de eletrodos, desde a extração até a erosão da peça final, onde ocorre maior número de não-conformidade (NC), e avaliar a dimensão do seu risco. Ex. se as NC's estiverem acontecendo no início do processo e são facilmente identificáveis, o risco é pequeno. Caso as NC's aconteçam no final do processo, o risco será bem maior.
Lavagem conforme a característica da peça e dos eletrodos	Verificar conforme geometria da peça, qual a solução (pior, boa, ótima ou indiferente) da lavagem: com 1 eletrodo grande ou com 6 eletrodos menores
Taxa de remoção conforme as características da peça e dos eletrodos	Verificar conforme características da peça/eletrodo, qual a solução (pior, boa, ótima ou indiferente) da taxa de remoção: com 1 eletrodo grande ou com 6 eletrodos menores
Habilidade do operador disponível na sua ferramentaria	Avaliar conforme características da peça/eletrodos, qual a solução (pior, boa, ótima ou indiferente) em relação a habilidade do operador para realizar o serviço: com 1 eletrodo grande ou com 6 eletrodos

	menores.
Peça estética, técnica ou comum	<p>Avaliar conforme características da peça, qual a solução (pior, boa, ótima ou indiferente) para realizar o serviço: com 1 eletrodo grande ou com 6 eletrodos menores.</p> <p>Ex: peça estética não pode deixar marcas indesejáveis visíveis. Peças técnicas as montagens devem estar conforme tolerância. E peças comuns, detalhes que ficarão escondidos no produto e que não compromete o funcionamento do produto.</p>
Nº de preparação de setup para cada eletrodo	Avaliar o impacto de 1 setup ou 6 setup's como solução (pior, boa, ótima ou indiferente) para realizar o serviço.

Fonte: Próprio Autor.

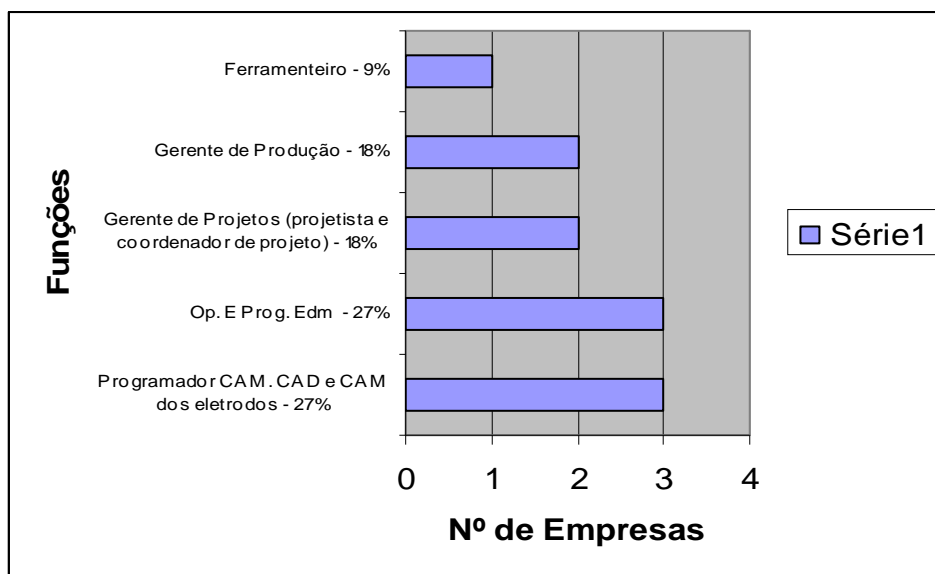
APÊNDICE – RESULTADO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Esse documento contém o resultado da aplicação do questionário na Rede de Ferramentaria do Senai, referentes à ferramenta de tomada de decisão para a validação do método proposto na dissertação, cujo título é “Proposição de Método de Tomada de Decisão para Definição de Leiaute de Eletrodos aplicados na Fabricação de Moldes de Injeção”.

Este Questionário foi enviado para a Rede de Ferramentaria e para outras ferramentarias existentes no mercado. Do total enviado, houve 11 questionários respondidos, sendo 7 da Bahia, 2 do Rio Grande do Sul, 1 de Pernambuco e 1 de Santa Catarina.

O Gráfico 1 apresenta a função dos entrevistados.

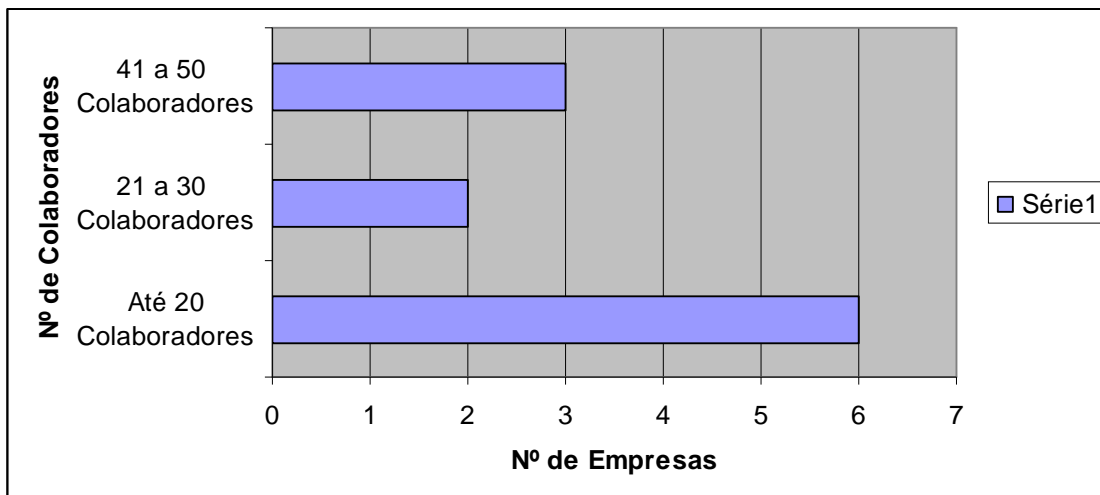
Gráfico 1 – Função dos entrevistados.



Fonte: Próprio Autor.

O Gráfico 2 mostra o nº de colaboradores das empresas relacionadas com o processo de desenvolvimento e aplicação dos eletrodos.

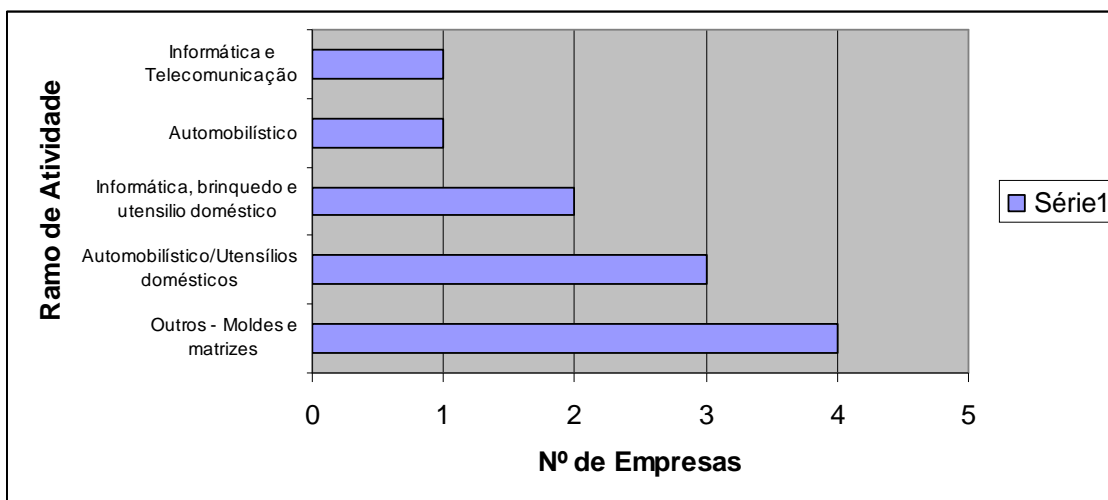
Gráfico 2 – Número de colaboradores das empresas.



Fonte: Próprio Autor.

O Gráfico 3 apresenta o principal ramo de atuação.

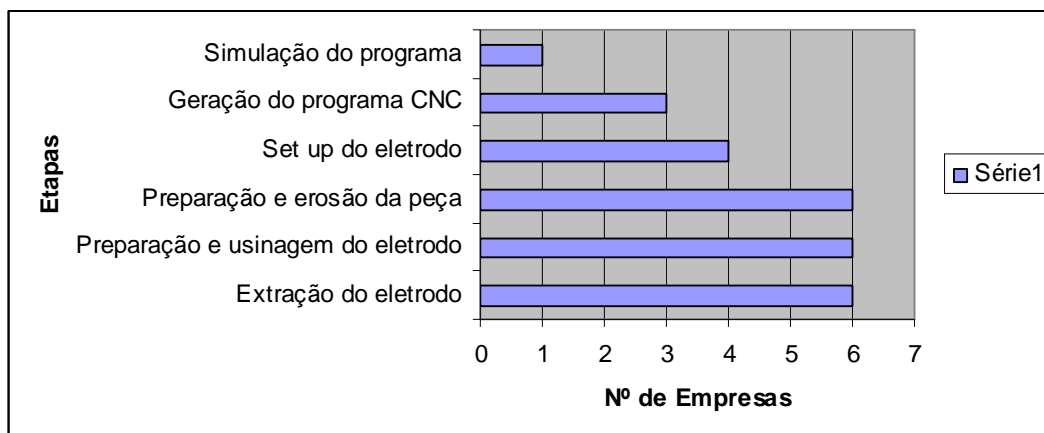
Gráfico 3 – Principal ramo de atuação.



Fonte: Próprio Autor.

Das 11 empresas, 7 utilizam o processo de projeto de eletrodo baseado na experiência dos profissionais e 4 utilizam um processo formal. A metodologia utilizada atende a 100% dos entrevistados, porém, 91% acreditam que esta metodologia possa ser melhorada nas seguintes etapas, conforme mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Etapas que podem ser melhoradas na metodologia atual.



Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 1 apresenta o nível de escolaridade dos colaboradores que trabalham em cada etapa do processo nas empresas entrevistadas.

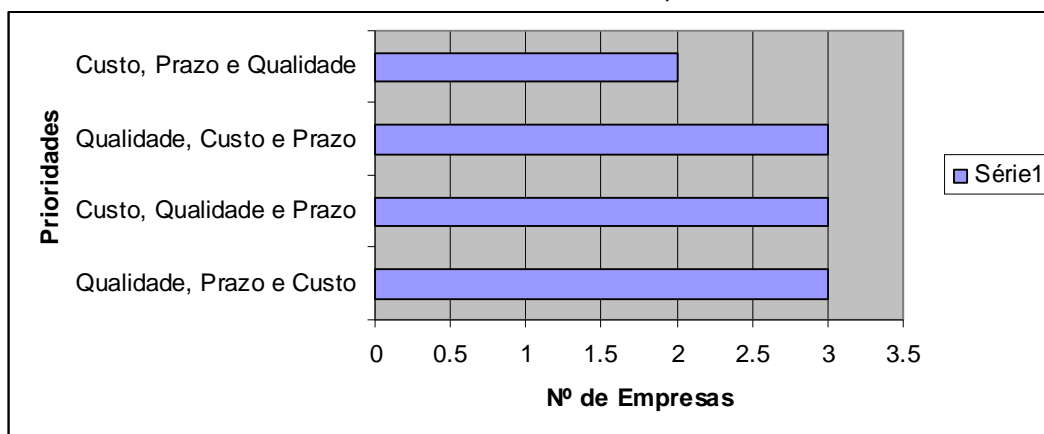
Tabela 1 – Nível de escolaridade dos colaboradores das empresas.

	CAD	CAM	Planejamento do Processo	Fabricação do eletrodo	Erosão da peça
Universitário	8	8	7		
Técnico	6	4	4	10	10
Segundo Grau	1	1		1	1

Fonte: Próprio Autor.

As prioridades das empresas em relação a qualidade, prazo e custos são mostradas no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Prioridades das empresas.



Fonte: Próprio Autor.

No último item do questionário, onde com as informações, disponibilizadas na pesquisa, foi solicitada a escolha, com justificativa, de 1 ou 6 eletrodos para erodir a peça, 5 empresas escolheram o eletrodo único justificando:

Empresa 1 - “Seria escolhida a opção de 1 eletrodo. Com Grafite a diferença do custo total de MP cai em relação á opção cobre. Os tempos de usinagem totais, considerando também o trabalho de preparação da base e fixação do eletrodo normalmente seriam maiores. O tempo total de queima também é bem menor apenas com 1 eletrodo versus a opção de 6 eletrodos”;

Empresa 2 - “Eletrodo Único. Esta alternativa leva em consideração algumas situações que temos na empresa, principalmente no que tange a mão de obra. Com uma mão de obra não muito experiente, correremos muito risco de retrabalhos. Fazendo um eletrodo único faria com que o risco de possíveis retrabalhos seja diminuído”;

Empresa 3 - “A melhor opção é um eletrodo, por mais que o CAM dê uma soma maior. Com um eletrodo você tem somente uma usinagem completa e a possibilidade de erros é bem menor, um alinhamento e uma regulagem de Z. A única dificuldade que eu vejo vai ser na lavagem, por isso deve-se planejar na construção, furos com ligações centrais para possibilitar uma excelente lavagem”;

Empresa 4 - “De acordo com as informações acima, que foi salientada o acabamento cosmético (visual) da peça, minha opção seria pela fabricação de 1 eletrodo único. Esta opção de acordo com a tabela é a mais cara na fabricação, perdendo pouco no tempo do processo, mas é a opção em que vamos ter menos variáveis para erros (desencontros), pensando no acabamento final do produto”;

Empresa 5 - “Na nossa empresa, qualquer uma das opções, independente dos valores descritos poderia ser a estratégia mais correta, isto porque nunca tivemos em curso um único serviço. Além disso, disponibilizamos de várias máquinas. O mais importante aos valores descritos em função do maquinário é sem dúvida o planejamento da empresa. Um ponto importante de salientar é que quanto menor for o numero de eletrodos, menor é o risco de originar desencontros no aço”.

A opção de seis eletrodos foi justificada das seguintes formas:

Empresa 6 – “Melhor opção: 06 eletrodos. Em termos de extração e programação de 06 eletrodos, estes dariam mais horas de trabalho em relação a 01 eletrodo. Porém o custo da matéria prima seria menor e com menor tempo de fabricação. Com relação a setup e erosão a utilização de 06 eletrodos é mais vantajosa, visto que estes erodiriam somente os locais que realmente necessitassem na peça, ao contrario de 01 eletrodo que acabaria erodindo regiões que ficariam acabadas no processo de usinagem”;

- Empresa 7 – “Levando em consideração que usamos troca rápida de eletrodo, opto pelos 6 eletrodos. Neste caso imagino que o tempo será menor, pois a área de contato eletrodo x peça também será menor”;
- Empresa 8 – “A escolha pela opção de 6 eletrodos é baseada na possibilidade de controle mais refinado de acordo com o desgaste de usinagem localizado, ou seja, no processo de usinagem existe o desgaste natural da fresa ao longo da superfície, quando executa-se o processo com eletrodo único a possibilidade de se retirar mais material em uma superfície do que em outra é muito grande, portanto vão existir diferenças de níveis, excesso de material ao longo da peça, exigindo maior retrabalho de bancada. Outro fator que torna a escolha por eletrodo único não recomendado é o fato dos cantos vivos, como já dito anteriormente o eletrodo tende a retirar mais material em algumas superfícies do que em outras arredondando os cantos de forma irregular. Outro fator é o fenômeno físico da expansão de gases, que no caso de eletrodo único fica “confinado” podendo em alguns casos fraturar os cantos do eletrodo inviabilizando a utilização o mesmo”;
- Empresa 9 – “Com base nas informações a melhor opção seria utilizar 06 eletrodos, pois, é mais barato, temos um tempo menor de execução, além de ter, este produto, um tratamento posterior à erosão que vai neutralizar qualquer imperfeição admissível deixada pelo processo de eletro erosão”;
- Empresa 10 – “A segunda opção com seis eletrodos, pois devido a peça ser texturizada, processo que corrige pequenos desencontros deixado pelos eletrodos, e uma melhor lavagem devido o tamanho dos eletrodos”;
- Empresa 11 – “O produto será polido? Se sim a melhor alternativa seria 6 eletrodos, porque sempre entre um eletrodo e outro terás uma pequena marca e com polimento é possível de corrigir, caso for de erosão o acabamento final não poderia ser em vários eletrodos”.