

## **USO DE MÉTODO DE DECISÃO MULTI-CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE UM FORNECEDOR DE FERRAMENTAL PARA FUNDIÇÃO DE AUTOPEÇAS**

**Rodrigo Lemos Pereira, rodrigo.lemospereira@hotmail.com<sup>1</sup>**  
**Fernando Antonio Elias Claro, fernandoclaro@uol.com.br<sup>2</sup>**

**<sup>1,2</sup>Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n – Taubaté – SP – CEP 12060-440**

**Resumo:** *A complexidade no processo de produção de veículos deve-se, entre outras razões, aos inúmeros componentes utilizados na montagem, que em geral tem elevado conteúdo tecnológico. Os fundidos, um destes componentes, enquadram-se perfeitamente nesta categoria e somente podem ser produzidos com qualidade e custo competitivo com o emprego de ferramentais apropriados. A fabricação de moldes e matrizes é feita usando-se modernas tecnologias computacionais e materiais de alto desempenho e confiabilidade. Embora destinados à produção em massa, ferramentais são produtos únicos cuja manufatura requer conhecimento técnico específico e familiaridade com o processo de fundição onde serão utilizados. A escolha de um fornecedor para ferramentais de fundição é normalmente um problema complicado e que consome tempo. O processo de decisão envolve múltiplos critérios, que podem ser conflitantes ou superpostos, objetivos ou subjetivos. Neste trabalho, o método da análise hierárquica analítica foi usado para selecionar um fornecedor de um ferramental para uso no processo de fundição sob pressão, para produção de uma carcaça da transmissão. Através de revisão da literatura técnica e contatos com especialistas, diversos critérios qualitativos e quantitativos foram identificados para a escolha do fornecedor. Posteriormente estes critérios foram hierarquizados em três níveis e as prioridades entre eles identificadas em matrizes de comparação. A seguir, calculou-se a razão de consistência para cada uma das matrizes e finalmente obteve-se o escore final de cada fornecedor considerado na seleção. A aplicação do método melhorou o processo de seleção pela redução da subjetividade e pela ponderação dos critérios julgados importantes para um fabricante de ferramentais complexos.*

**Palavras-chave:** *AHP, análise hierárquica analítica, ferramental, fundição, seleção de fornecedor*

### **1. INTRODUÇÃO**

Para fazer frente ao ambiente altamente competitivo de negócios dos dias de hoje, as indústrias de manufatura têm procurado melhorar seus processos e lançar freqüentemente novos produtos no mercado com qualidade e preço competitivo. Como estas empresas têm optado por concentrar seu foco nos segmentos do processo em que são especialistas (*core-business*) elas dependem cada vez mais de seus fornecedores para atingir seus objetivos e, por esta razão, empregam uma proporção significativa da receita na compra de matéria-prima, ferramentais e equipamentos que buscam em um mercado cada vez globalizado (Muralidharan et al., 2002). Além disto, no que diz respeito a administração da cadeia de fornecimento, as empresas tem optado por operar com um número limitado de fontes confiáveis com as quais estabelecem relações comerciais de longo prazo. Neste contexto, a escolha do fornecedor apropriado é uma das mais importantes decisões de negócio. Embora até não muito tempo atrás a seleção do fornecedor fosse norteadá principalmente pelo fator preço/custo, gradativamente outros critérios passaram a ser levados em conta no processo decisório, como por exemplo, qualidade, prazo de entrega, capacidade e flexibilidade (Ho et al., 2010). Esta nova visão tem sido aplicada no segmento de autopeças fundidas. As empresas que atuam neste ramo precisam realizar altos investimentos no projeto e manufatura de ferramentais a cada vez que negociam um novo contrato com seus clientes ou quando necessitam substituir um ferramental já desgastado pelo uso. Elas têm percebido que o custo do ferramental ao longo de sua vida útil é muito mais importante que o preço inicial e tem aceitado realizar um desembolso razoável no ato da compra com acordo de redução nos pedidos seguintes. Um dos processos mais utilizados nas fundições para a produção de peças complexas em ligas de alumínio é a fundição sob pressão (*die casting process*). Este processo responde por um terço da produção mundial de fundidos e a indústria automobilística consome 44% desta fração (NADCA, 2005). Projeta-se que o uso de ligas de alumínio em automóveis continue crescendo. Segundo pesquisas realizadas pela Associação Européia de Alumínio (*European Aluminum Association - EAA*) o conteúdo de componentes veiculares fabricados com este metal subiu de 50 kg em 1990 para 132 kg em 2005 e deve atingir 157 kg em 2010 (EAA, 2008). No Brasil, a produção nacional de autoveículos, superior a 3.000.000 de unidades por ano desde

2007 (ANFAVEA, 2010), expressa perfeitamente o tamanho do mercado para peças técnicas de alumínio fundidas sob pressão. A carcaça da transmissão para veículos de passeio tem sido tipicamente produzida por este processo. Obter um fundido deste tipo com qualidade e produtividade é uma tarefa difícil que depende muito da capacidade da fundição, de seu corpo técnico e principalmente do ferramental utilizado. A construção de matrizes para peças técnicas a serem produzidas sob pressão consome tempo e envolve um grande número de detalhes que lhe aumentam a complexidade. A escolha de um fornecedor para este tipo de ferramental está condicionada a múltiplos critérios, que podem ser sobrepostos ou conflitantes, de natureza qualitativa ou quantitativa, alguns deles a serem minimizados e outros maximizados. Por estas razões, torna-se difícil avaliar e escolher a melhor fonte de fornecimento se um processo estruturado de seleção não for utilizado.

## 2. MÉTODOS DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Os artigos de revisão da literatura sobre seleção de fornecedores publicados nos últimos anos (Vargas, 1990; Weber e Current, 1993; Degraeve et al., 2000; de Boer et al., 2001; Ho et al., 2010) revelam que os métodos de decisão multicritério mais frequentemente aplicados com este objetivo são a análise envoltória de dados (ou *data envelopment analysis, DEA*), a programação matemática e o processo hierárquico analítico (ou *analytic hierarchy process, AHP*). Dentre os estudos que utilizaram o AHP podem-se mencionar as publicações de Akarte et al. (2001), que introduz um sistema ancorado no uso da internet para avaliação de fornecedores de fundidos com base em 18 critérios; de Chan e Chan (2004) que apresentam o processo de escolha do fornecedor de um fabricante de equipamentos de montagem de semicondutores com base em seis critérios e vinte sub-critérios de avaliação e de Hou e Su (2007) que aplicam o método para identificar o fornecedor apropriado para dois componentes de cartuchos de impressão, considerando fatores de influência interna e externa ao negócio. O AHP, conforme descrito por Vaydia e Kumar (2006), tem também sido utilizado em diversos outros segmentos de negócios, como, por exemplo, em organizações governamentais, para desenvolvimento de produtos, alocação de recursos e seleção de projetos dentro de determinado portfólio. O método, criado por T. L. Saaty em 1977, tem duas características principais: (i) valores subjetivos (qualitativos) e objetivos (quantitativos) podem ser combinados durante o processo decisório e integrados em um único escore global e (ii) pode-se medir a consistência do processo decisório quanto aos escores atribuídos e, devido a isto, não é incomum que estes precisem ser revisados algumas vezes. Se por um lado este fato traz a certeza que a melhor decisão estará sendo tomada, por outro ele pode aumentar o tempo de análise.

## 3. ESTUDO DE CASO

A empresa onde este estudo de caso foi desenvolvido é afiliada a um dos mais tradicionais fabricantes de fundidos em ligas leves na Europa e está localizada no interior de São Paulo. A empresa, produtora de autopeças em ligas de alumínio fundidas sob pressão, recentemente firmou contrato com uma fábrica de transmissões para fornecimento de um novo modelo de carcaça de transmissão. Embora a organização tenha mantido em sua área técnica técnicos e engenheiros com experiência em projeto e fabricação de ferramentais, por opção estratégica feita a alguns anos atrás, ela decidiu manter em seus ativos apenas os recursos necessários a manutenção dos moldes em uso e adquirir as ferramentas novas no mercado. Três fornecedores foram avaliados como fontes potenciais de fornecimento para a matriz a ser usada na produção da carcaça. Para esta avaliação foram feitas visitas aos potenciais fornecedores e posteriormente solicitado a cada um deles a submissão de quotação técnica-financeira para o molde. As etapas para selecionar o fornecedor, usando-se a metodologia do AHP, são apresentadas a seguir.

### 3.1. Identificação dos critérios, sub-critérios e atributos

Neste estudo, cinco critérios e doze sub-critérios, definidos com base na revisão da literatura técnica (Andresen, 2005; Herman, 1992; Bar-Mehir, 2009), discussão com especialistas da empresa matriz na Alemanha e da própria fundição onde o estudo foi realizado, foram escolhidos para selecionar o fornecedor. Três destes critérios (Projeto, Manufatura e Qualidade) são de natureza subjetiva e são apresentados na Tab. (1) com seus respectivos sub-critérios e atributos. Os dois critérios adicionais são quantitativos ou objetivos (Prazo e Preço) e estão apresentados na Tab. (2) com seus respectivos sub-critérios (as abreviaturas apresentadas entre parênteses em ambas as tabelas serão usadas posteriormente para facilitar a identificação dos critérios, sub-critérios e atributos nas matrizes de comparação). A estrutura de hierarquização foi estabelecida em três níveis. No nível mais alto foi posicionado o objetivo de decisão (ou seja, a seleção do fornecedor), no nível seguinte figuram os cinco critérios e no nível mais baixo estão os doze sub-critérios divididos em grupos associados aos critérios correspondentes.

Os atributos “complexidade dos ferramentais já projetados” e os softwares “CAD/CAM/CAE” foram escolhidos para avaliar o critério de projeto. A complexidade no projeto deve-se principalmente a geometria do produto, ao número de componentes existentes na matriz, as definições relativas aos sistemas de alimentação, de resfriamento e extração do fundido, ângulos de saída, expectativa de contração do produto, especificação das dimensões que afetem a robustez e a segurança do ferramental, adição de estoque de material para a usinagem e a seleção dos materiais apropriados para que o molde alcance a vida útil projetada. A disponibilidade dos softwares específicos torna possível modelar a matriz a partir do produto, desenvolver os programas de caminhos de ferramenta que podem ser simulados virtualmente e otimizados para reduzir o tempo de manufatura, transferir os programas de usinagem para a máquina de medir por

coordenadas e usá-los no controle dimensional da matriz, simular o fluxo e a solidificação do fundido no molde para prever e eliminar problemas associados a baixa produtividade e qualidade.

**Tabela 1. Critérios subjetivos de avaliação para os fornecedores de ferramental.**

Objetivo da decisão	Critérios	Sub-critérios	Atributos
Seleção do fornecedor	Projeto (PRJ)	Complexidade dos ferramentais já projetados (CFP)	a) Baixa (CFP1) b) Média (CFP2) c) Alta (CFP3)
		CAD/CAM/CAE (SOF)	a) CAD sólido (SOF1) b) CAD superfície (SOF2) c) CAM caminho de usinagem (SOF3) d) Projeto/Medição Integrados (SOF4) e) Simulação de fluxo e solidificação (SOF5)
	Manufatura (MAN)	Tratamento Térmico (TTO)	a) Forno Convencional (TTO1) b) Forno a vácuo, alta velocidade de resfriamento (TTO2)
		Usinagem, Acabamento e Montagem (UAM)	a) Fresadoras Verticais com CNC para Desbaste (UAM1) b) Centros de Usinagem, 3 e 5 eixos, HS, com CNC (UAM2) c) Eletroerosão (UAM3) d) Prensa de fechamento (UAM4) e) Acabamento superficial (UAM5)
	Qualidade (QLD)	Sistema da Qualidade (SQL)	a) Autocertificado (SQL1) b) Certificado ISO 9000 (SQL2) c) Certificado ISO TS 16949 ou similar (SQL3)
		Qualidade Dimensional (QDI)	a) Instrumentos Manuais de Medição (QDI1) b) Máquina de Medir por Coordenadas (QDI2) c) Braço portátil de medição (QDI3)
		Set-up e Amostras Iniciais (SAI)	a) Dimensional do fundido (SAI1) b) Aparência e sanidade do fundido (SAI2) c) Set-up do ferramental (SAI3)

Siglas: CAD= *computer-aided design*; CAM=*computer-aided manufacturing*; CNC=*computer numerical control*; HS= *high speed*.

Os sub-critérios “tratamento térmico” e “usinagem, acabamento e montagem” foram escolhidos para avaliar a capacidade dos fornecedores quanto a manufatura do ferramental. O tratamento térmico é tão importante para a matriz quanto o aço utilizado em sua fabricação. No processo de fundição sob pressão o molde está sujeito a considerável gradiente térmico. Se durante a fase de solidificação do fundido a matriz é aquecida pelo contacto com o metal líquido; no momento seguinte ao da abertura para ejeção da peça ela é rapidamente resfriada pela limpeza de sua superfície com jato de água e aplicação do agente desmoldante. Esta variação resulta em fadiga térmica dando origem ao surgimento de microtrincas superficiais que, por sua vez, reduzem a vida útil do molde. O ciclo apropriado de tratamento térmico, feito em equipamento adequado e sob os devidos controles, é fundamental para conferir a resistência mecânica e térmica necessárias ao bom desempenho da matriz. O sub-critério “usinagem, acabamento e montagem” é de prima importância no processo de fabricação. Buscou-se avaliar se o fornecedor dispunha de máquinas operatrizes bem mantidas e capazes de realizar as operações de desbaste e de acabamento com precisão e em tempo razoável. Foram observados ainda os recursos do fornecedor para transportar internamente o ferramental ou seus componentes de maior peso. O processo de eletroerosão foi incluído entre os sub-critérios por ser considerado uma alternativa quando complexidades geométricas de determinadas partes da matriz representem um obstáculo à usinagem convencional. A prensa de fechamento é importante para avaliar se a folga entre as duas semi-matrizes, com o molde fechado sob as cargas mecânicas da injetora, atende o valor de projeto. A superfície do molde deve ser lixada e polida para a eliminação de riscos e contra-saidas que possam provocar a aderência de metal líquido nesta região durante a injeção.

Os sub-critérios para avaliação da qualidade são “sistema de qualidade”, “qualidade dimensional” e “set-up e amostras iniciais”. A certificação do sistema de qualidade do fornecedor, em especial se realizada por uma entidade competente e independente, foi incluída por ser um indicativo de visão de processo, consistência na manufatura e foco na satisfação dos clientes. Para garantir que as especificações dimensionais do ferramental estão sendo atendidas, o

fornecedor precisa dispor de equipamentos de medição calibrados, confiáveis e operados em ambientes próprios e por técnicos qualificados. O “braço portátil de medição” foi acrescentado entre os sub-critérios por sua versatilidade e portabilidade, já que em determinadas ocasiões torna-se difícil manusear o ferramental, ou seus componentes mais pesados, sobre a máquina de medir por coordenadas. Espera-se que ao final da fabricação do molde o fornecedor tenha os recursos disponíveis para produzir as primeiras amostras em suas instalações. Nesta produção piloto se avaliam as possibilidades de otimização do tempo de *set-up* do ferramental na injetora, se inspecionam dimensionalmente as peças produzidas verificando-se sua adequação ao projeto. Elas também devem ser inspecionadas, visualmente e por fluoroscopia, quanto a possíveis defeitos metalúrgicos relacionados ao ferramental que, se existentes, precisarão ser eliminados antes do uso do mesmo em produção. Para cada critério subjetivo foram definidos determinados atributos. Na maioria das vezes, a preferência por um ou outro destes atributos é relativamente clara, entretanto nem sempre é fácil exprimir a magnitude destas preferências. Por exemplo, no sub-critério “Tratamento Térmico”, embora o atributo “forno a vácuo com alta velocidade de resfriamento” possa ser o preferido, deseja-se quantificar sua importância relativa em relação ao atributo “forno convencional”.

**Tabela 2. Critérios objetivos de avaliação para os fornecedores de ferramental**

Objetivo da decisão	Critérios	Sub-Critérios
Seleção do Fornecedor	Prazo (PRZ)	Prazo de conclusão do projeto (COP)
		Prazo de entrega e teste do ferramental (ETF)
		Prazo de aprovação final do ferramental (AFF)
	Preço (PRO)	Preço do projeto (PPJ)
Preço do ferramental (PFE)		

O critério prazo foi avaliado por três diferentes perspectivas: prazo de conclusão do projeto, prazo para a entrega e teste do ferramental e prazo de aprovação do ferramental. A conclusão do projeto é uma das etapas mais importantes na construção do ferramental. Normalmente é durante o projeto que a fundição e seu fornecedor discutem os conceitos de construção, abordam dificuldades experimentadas em moldes anteriores e buscam soluções para evitar que problemas antigos voltem a ocorrer (NADCA, 2009). Mediante os testes práticos com a matriz já será possível projetar o comportamento do ferramental em produção. É logo após estes testes que se fazem os ajustes necessários no molde de modo a deixá-lo apto para a produção em massa. No pedido formal de quotação a empresa onde este estudo de caso foi realizado informou aos fornecedores potenciais os prazos limites para cada uma destas três fases, todos eles dentro do padrão da indústria para este tipo de construção.

O fator preço foi subdividido em dois sub-critérios, preço do projeto e do ferramental. Como a empresa contratante ainda mantém os recursos necessários para projetar um ferramental deste porte ela tinha interesse em comparar seu custo para isto com o preço ofertado pelos fornecedores. O preço final inclui as despesas para a amostragem, considera o ferramental posto na fundição e está associado ao escopo detalhado de construção e a forma de pagamento. Embora os autores deste artigo e os profissionais consultados considerem ter incluído a maioria dos critérios e sub-critérios importantes neste estudo, é possível que, se uma investigação similar fosse realizada em outras organizações deste segmento, dela resultariam fatores diferentes. Esta possibilidade pode ser explicada pelo fato de ser o problema de seleção do fornecedor específico a cada aplicação, além da influência que a cultura técnica e a orientação estratégica gerencial de cada empresa exercem sobre ele.

### 3.2. Cálculo dos pesos dos critérios e sub-critérios

A etapa seguinte consistiu em estimar os pesos, primeiramente para os critérios e a seguir para os sub-critérios. Isto foi feito com a utilização de matrizes de comparações, exemplificada na Tab. (3), e da escala de importância relativa (Saaty, 1990), apresentada na Tab. (4).

Na Tab. (3) consideram-se  $n$  critérios ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) a serem comparados e a importância relativa de  $C_i$  com respeito a  $C_j$  tem intensidade  $a_{ij}$ . A matriz está sujeita as restrições  $a_{ii} = 1$ , qualquer que seja  $i$ , e  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , para  $i \neq j$ . O vetor de pesos,  $p$ , é obtido pela normalização do autovetor principal.

Para verificar a coerência das comparações calculou-se o autovalor,  $\lambda_{\max}$ , de cada uma das matrizes utilizadas e a seguir a razão de consistência (*CR-consistency ratio*) dada por:

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)RI} \quad (1)$$

onde  $RI$  é o índice de coerência aleatória (*RI-random consistency index*) e seus valores podem ser encontrados em Saaty (1980).

Tabela 3. Matriz de comparações entre os critérios.

Critério	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>n</sub>	Peso
C <sub>1</sub>	a <sub>1,1</sub>	a <sub>1,2</sub>	a <sub>1,3</sub>	...	a <sub>1,n</sub>	p <sub>1</sub>
C <sub>2</sub>	a <sub>2,1</sub>	1	a <sub>2,3</sub>	...	a <sub>2,n</sub>	p <sub>2</sub>
C <sub>3</sub>	a <sub>3,1</sub>	a <sub>3,2</sub>	1	...	a <sub>3,n</sub>	p <sub>3</sub>
...	...	...	...	...	...	...
C <sub>n</sub>	a <sub>n,1</sub>	a <sub>n,2</sub>	a <sub>n,3</sub>	...	1	p <sub>n</sub>

Tabela 4. Escala de importância relativa.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Um fator é moderadamente mais importante do que o outro
5	Forte importância	Um fator é mais importante do que o outro
7	Importância muito forte	Um fator é muito mais importante do que o outro
9	Importância extrema	Um fator é extremamente mais importante do que o outro
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	

Neste estudo de caso, as comparações pareadas usadas no preenchimento das matrizes foram realizadas por uma equipe coordenada pelo gerente do projeto e formada por um engenheiro de qualidade, um supervisor de produção e um engenheiro de processos. Seguindo recomendação encontrada em Saaty (1990), foi considerado que a razão de consistência de qualquer uma das matrizes de comparação não poderia ser superior a 0,10. Quando isto eventualmente ocorreu, a equipe responsável pelas comparações rediscutiu e revisou o valor original das intensidades atribuídas para eliminar a incoerência.

### 3.3. Medição do desempenho

A etapa seguinte foi a mensuração do desempenho do fornecedor que depende do tipo de critério considerado. Para os critérios objetivos o desempenho foi avaliado pelo método da normalização, usando-se os próprios dados conhecidos através do preenchimento da quotação. Como na presente aplicação estes critérios são ótimos quando em valores mínimos, a medida de desempenho relativa do fornecedor é calculada normalizando-se o recíproco destes valores. O fator preço do ferramental, por exemplo, enquadra-se nesta condição. Suponha que os três fornecedores F1, F2 e F3 tenham orçado o ferramental em R\$ 1.140.000,00; R\$ 1.520.000,00 e R\$ 1.425.000,00 respectivamente. Neste caso o desempenho de cada um dos três fornecedores neste critério seria 0,392; 0,294 e 0,314 respectivamente.

Para os critérios subjetivos o desempenho foi medido utilizando-se *ratings* (Saaty, 1990; Saaty, 1994), isto é, transformando julgamentos qualitativos (atributos) em quantitativos, através da metodologia do AHP, seguindo procedimento análogo ao empregado para as comparações dos critérios e sub-critérios. Para determinar o atributo mais apropriado a cada um dos sub-critérios utilizados, representantes da empresa onde este estudo de caso foi desenvolvido visitaram as instalações dos fornecedores em potencial fazendo avaliações *in-loco*. Quando em determinado sub-critério o candidato fornecedor demonstrava dispor de mais de um atributo, seu desempenho foi calculado somando-se todos os *ratings* a eles associados. Por exemplo, se histórico do fornecedor F1 evidenciava que sua experiência em projetos limitava-se a ferramentais de baixa complexidade e se o fornecedor F2 demonstrava já ter projetado ferramentais de baixa, média e alta complexidade, então o desempenho deles quanto ao sub-critério "Complexidade dos ferramentais já projetados" foi de 0,105 e 1,000 respectivamente. Após calcular os valores de desempenho de todos os fornecedores para cada sub-critério subjetivo, eles foram normalizados para somar a unidade. Este procedimento resultou em consistência entre os sub-critérios objetivos e subjetivos no cálculo do escore total de desempenho dos fornecedores.

### 3.4. Escore final do fornecedor

O escore final do fornecedor foi calculado pela expressão:

$$E_k = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} W_i U_{ij} D_{ijk} \quad (2)$$

onde:

$E_k$  é o escore final do k-ésimo fornecedor,

$W_i$  é o peso do i-ésimo critério,

$U_{ij}$  é o peso do j-ésimo sub-critério associado ao i-ésimo critério,

$D_{ijk}$  é o *rating* de desempenho do k-ésimo fornecedor associado ao i-ésimo critério e ao j-ésimo sub-critério,

$n_i$  é o número total de sub-critérios associados ao  $i$ -ésimo critério.  
O fornecedor com o maior escore final foi considerado o mais adequado.

#### 4. RESULTADOS

O resultado da comparação entre os critérios é apresentado na Tab. (5) e das comparações para os sub-critérios nas Tabs. (6) a (10). As matrizes de comparação dos atributos de cada sub-critério são apresentadas nas Tabs. (11) a (17) e os *ratings* normalizados para cada um dos três fornecedores são apresentados na Tab. (18). O escore final alcançado por cada um dos fornecedores é apresentado na Tab. (19).

**Tabela 5. Matriz de Comparação para os critérios.**

	PRJ	MAN	QLD	PRZ	PRO	Pesos
PRJ	1	4	3	7	5	0,463
MAN	1/4	1	1/3	5	3	0,145
QLD	1/3	3	1	7	5	0,282
PRZ	1/7	1/5	1/7	1	1/3	0,037
PRO	1/5	1/3	1/5	3	1	0,073
					Razão de Consistência=	0,067

Como indicado na Tab. (5), os critérios Projeto, Qualidade e Manufatura receberam as maiores prioridades. Dentre estes fatores, os sub-critérios mais importantes, foram respectivamente a disponibilidade de softwares (CAD/CAM/CAE) (veja Tab. 6), a capacidade para produção e avaliação de amostras iniciais (veja Tab. 7) e recursos para usinagem, montagem e acabamento do ferramental (veja Tab. 8). O critério preço teve baixa prioridade, confirmando o entender da equipe de avaliação que a vantagem existente por um desembolso inicial menor é rapidamente perdida se durante a produção em massa dos fundidos o ferramental causar problemas de baixa qualidade e produtividade. Como se sabia de antemão que a integração deste novo ferramental poderia ser feita em um prazo confortável, este critério recebeu a menor prioridade.

**Tabela 6. Matriz de Comparação para os sub-critérios de projeto.**

	CFP	SOF	Pesos
CFP	1	1/7	0,125
SOF	7	1	0,875
		Razão de Consistência=	0,000

**Tabela 7. Matriz de Comparação para os sub-critérios de qualidade.**

	SQL	QDI	SAI	Pesos
SQL	1	1/3	1/5	0,105
QDI	3	1	1/3	0,258
SAI	5	3	1	0,637
			Razão de Consistência=	0,033

**Tabela 8. Matriz de Comparação para os sub-critérios de manufatura.**

	TTO	UAM	Pesos
TTO	1	1/7	0,125
UAM	7	1	0,875
		Razão de Consistência=	0,000

**Tabela 9. Matriz de Comparação para os sub-critérios de preço.**

	PPJ	PFE	Pesos
PPJ	1	1/7	0,125
PFE	7	1	0,875
		Razão de Consistência=	0,000

Tabela 10. Matriz de Comparação para os sub-critérios de prazo.

	COP	ETF	AFF	Pesos
COP	1	1/3	1/5	0,105
ETF	3	1	1/3	0,258
AFF	5	3	1	0,637
			Razão de Consistência=	0,033

Tabela 11. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério complexidade dos ferramentais.

	CFP1	CFP2	CFP3	Pesos
CFP1	1	1/3	1/5	0,105
CFP2	3	1	1/3	0,258
CFP3	5	3	1	0,637
			Razão de Consistência=	0,033

Tabela 12. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério CAD/CAM/CAE.

	SOF1	SOF2	SOF3	SOF4	SOF5	Pesos
SOF1	1	1/3	3	5	6	0,267
SOF2	3	1	5	6	7	0,491
SOF3	1/3	1/5	1	3	5	0,135
SOF4	1/5	1/6	1/3	1	3	0,069
SOF5	1/6	1/7	1/5	1/3	1	0,037
					Razão de Consistência=	0,071

Tabela 13. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério tratamento térmico.

	TTO1	TTO2	Pesos
TTO1	1	1/5	0,167
TTO2	5	1	0,833
		Razão de Consistência=	0,000

Tabela 14. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério "Usinagem, Acabamento e Montagem".

	UAM1	UAM2	UAM3	UAM4	UAM5	Pesos
UAM1	1	1/2	7	3	5	0,314
UAM2	2	1	7	3	5	0,415
UAM3	1/7	1/7	1	1/5	1/3	0,038
UAM4	1/3	1/3	5	1	3	0,158
UAM5	1/5	1/5	3	1/3	1	0,075
					Razão de Consistência=	0,084

Tabela 15. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério "Sistema da Qualidade".

	SQL1	SQL2	SQL3	Pesos
SQL1	1	1/4	1/5	0,094
SQL2	4	1	1/3	0,280
SQL3	5	3	1	0,627
			Razão de Consistência=	0,074

Tabela 16. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério "Qualidade Dimensional".

	QDI1	QDI2	QDI3	Pesos
QDI1	1	1/3	3	0,268
QDI2	3	1	4	0,615
QDI3	1/3	1/4	1	0,117
			Razão de Consistência=	0,063

Tabela 17. Matriz de Comparação dos atributos do sub-critério “Set-up e Amostras Iniciais”.

	SAI1	SAI2	SAI3	Pesos
SAI1	1	3	6	0,652
SAI2	1/4	1	5	0,268
SAI3	1/6	1/5	1	0,080
			Razão de Consistência=	0,028

Tabela 18. Ratings normalizados dos fornecedores.

Critério	Sub-critério	FORNECEDORES E RATINGS		
		F1	F2	F3
Projeto	Complexidade	0,363	1,000	0,363
	CAD/CAM/CAE	0,963	0,963	0,664
Manufatura	Tratamento Térmico	0,833	0,833	0,167
	Usinagem, Acabamento e Montagem	0,427	0,611	0,490
Qualidade	Sistema de qualidade	0,094	0,280	0,906
	Qualidade dimensional	1,000	0,883	0,883
	Set-up e amostras iniciais	0,652	0,732	0,732
Prazo	Conclusão do projeto	0,286	0,429	0,286
	Entrega e Teste do Ferramental	0,294	0,441	0,265
	Aprovação Final do Ferramental	0,324	0,405	0,270
Preço	Preço do Projeto	0,387	0,290	0,323
	Preço do Ferramental	0,392	0,294	0,314

Tabela 19. Escore final dos fornecedores.

CRITÉRIO	SUB-CRITÉRIO	FORNECEDORES E ESCORES		
		F1	F2	F3
<b>Projeto</b>	Complexidade	0,021	0,058	0,021
	CAD/CAM/CAE	0,390	0,390	0,269
	sub-total	0,411	0,448	0,290
		(0,36)	(0,39)	(0,25)
<b>Manufatura</b>	Tratamento Térmico	0,015	0,015	0,003
	Usinagem, Acabamento e Montagem	0,054	0,078	0,062
	sub-total	0,069	0,093	0,065
		(0,31)	(0,41)	(0,28)
<b>Qualidade</b>	Sistema de qualidade	0,003	0,008	0,027
	Qualidade dimensional	0,073	0,064	0,064
	Set-up e amostras iniciais	0,117	0,131	0,131
	sub-total	0,193	0,203	0,222
	(0,31)	(0,33)	(0,36)	
<b>Prazo</b>	Conclusão do projeto	0,001	0,002	0,001
	Entrega e Teste do Ferramental	0,003	0,004	0,003
	Aprovação Final do Ferramental	0,008	0,010	0,006
	sub-total	0,012	0,016	0,010
	(0,32)	(0,42)	(0,26)	
<b>Preço</b>	Preço do Projeto	0,004	0,003	0,003
	Preço do Ferramental	0,025	0,019	0,020
	sub-total	0,029	0,022	0,023
		(0,39)	(0,30)	(0,31)
<b>ESCORE TOTAL</b>		0,713	0,782	0,611
		(0,34)	(0,37)	(0,29)

(nota: números entre parênteses são valores relativos)



Conforme indicado na Tab. (19), o fornecedor F2 recebeu o maior escore final (37%), seguido dos fornecedores F1 (34%) e F3 (29%). O fornecedor F2 teve maior desempenho nos critérios de projeto, manufatura e prazo. O fornecedor F1 teve o melhor desempenho em preço, entretanto seus escores nos demais critérios foram insuficientes. O fornecedor F3 obteve o melhor escore no critério qualidade, pouco superior ao do fornecedor F2, mas seu desempenho foi inferior em todos os demais fatores.

## 5. CONCLUSÕES

O processo de decisão quando há muitos critérios a levar em conta é difícil e de resultado duvidoso quando não realizado de modo estruturado. Opções realizadas intuitivamente têm baixa qualidade, pois não levam em conta todos os fatores em jogo, nem consideram o peso de cada um deles. Neste estudo a metodologia do AHP foi empregada para selecionar um fornecedor de ferramental de fundição, cujo projeto e construção são de extrema complexidade. Fatores qualitativos e quantitativos foram levados em conta no processo e a importância de cada um deles foi metodicamente ponderada. Os resultados obtidos para a razão de consistência das matrizes apontaram coerência nas comparações, transmitindo aos participantes do processo de decisão a confiança na escolha do fornecedor de maior qualificação.

## 6. REFERÊNCIAS

- Akarte, M. M.; Surendra, N. V.; Ravi, B.; Rangaraj, N.; 2001, "Web based casting supplier evaluation using analytical hierarchy process", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, pp. 511-522.
- Andresen, B., 2005, "Die Casting Engineering: A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process", Marcel Decker, New York, United States of America, 400 p.
- ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), 2010, carta da ANFAVEA n°. 284, disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/carta.html>>, acesso em 11.janeiro.2010.
- Bar-Meir, G., 2009, "Fundamentals of Die Casting Design", disponível em: <<http://www.potto.org/DC/dieCasting.pdf>>, acesso em 08.abril.2009, 263 p.
- Chan, F. T.S.; Chan, H. K.; 2004, "Development of the supplier selection model-a case study in the advanced technology industry", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Engineering Manufacture*, Vol. 218, pp. 1807-1824.
- Degraeve, Z.; Labro, E.; Roodhooft, F.; 2000; "An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective", *European Journal of Operational Research*, Vol. 125; pp. 34-58.
- de Boer, L.; Labro, E.; Morlacchi, P.; 2001, "A review of methods supporting supplier selection", *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 7, pp. 75-89.
- EAA (European Aluminum Association), 2008, "Aluminum in cars", disponível em: <<http://www.eaa.net/>>, acesso em 11.janeiro.2010.
- Herman, E.A., 1992, "Designing die casting dies", North American Die Casting Association, Rosemont, Illinois, United States of America, 326 p.
- Ho, W.; Xu, X.; Dey, P. K.; 2010, "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 202, pp. 16-24.
- Hou, J.; Su, D.; 2007, "EJB-MVC oriented supplier selection system for mass customization", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 18, No. 1, pp. 54-71.
- Muralidharan, C.; Anantharaman, N.; S.G. Deshmukh, S. G.; 2002, "A Multi-Criteria Group Decisionmaking Model for Supplier Rating", *The Journal of Supply Chain Management*, pp. 22-33.
- NADCA (North America Die Casting Association), 2005, "Shaping America's future", disponível em:<[www.diecasting.org](http://www.diecasting.org)>, acesso em 11.janeiro.2010.
- NADCA (North America Die Casting Association), 2009, "Checklist NADCA T-2-1-09 for die casting die specifications", pp. 17-19, disponível em:<[www.diecasting.org](http://www.diecasting.org)>, acesso em 11.janeiro.2010.
- Saaty, T. L., 1980, "The analytic hierarchy process", McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L., 1990, "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 9-26.
- Saaty, T. L., 1994, "Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, pp. 426-447.
- Vaydia, O. S.; Kumar, S.; 2006, "Analytic hierarchy process: An overview of applications", *European Journal of Operational Research*, Vol. 169, pp. 1-29.
- Vargas, L. G., 1990, "An overview of the analytic hierarchy process and its applications", *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 2-8.
- Weber, C.A. and Current, J. R., 1993, "A multi-objective approach to vendor selection", *European Journal of Operational Research*, Vol. 68, pp. 173-184.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

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



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **USING A MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHOD TO SELECT A TOOLING SUPPLIER FOR AN AUTOPARTS FOUNDRY**

**Rodrigo Lemos Pereira, [rodrigo.lemospereira@hotmail.com](mailto:rodrigo.lemospereira@hotmail.com)<sup>1</sup>**  
**Fernando Antonio Elias Claro, [fernandoclaro@uol.com.br](mailto:fernandoclaro@uol.com.br)<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>**Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n – Taubaté – SP – CEP 12060-440**

**Abstract.** *The complexity in the vehicles production process is due mainly to the large number of assembled components, that are generally characterized by a high technological content. The castings, one of these such components, fit perfectly in this category and they only can be made at a competitive quality and cost level if a proper tooling is available. The molds and dies manufacturing process requires modern computer technologies and materials of high reliability and performance. Although made to mass production, toolings are unique products whose manufacturing requires technical knowledge and familiarity with the casting process where they will be employed. The selection of a casting tooling supplier is usually a complicated and time-consuming issue. The decision process is based on several criteria that can be conflicting or superposed, objective or subjective. In the present paper the analytic hierarchy process was used to select a tooling supplier for the manufacturing of a transmission housing by the die casting process. Several qualitative and quantitative criteria for the tooling supplier selection were identified through the technical literature review and discussion with foundry specialists. Subsequently, the criteria hierarchy was established in three levels and comparison matrixes were developed to determine the priorities among them. The consistency ratio for each matrix was calculated and the final score of each supplier was determined. The application of the methodology improved the selection process by reducing the subjectivity and by weighing the major selection criteria.*

**Keywords:** *AHP, analytic hierarchy process, tooling, foundry, supplier selection*