

## Proposição de método de seleção de materiais metálicos para calha de transporte de efluentes oriundo da limpeza de gases de um alto forno

*Method of selection of metallic materials for gutter of transport of waste arising from high oven*

Darlan Rodrigues Azevedo<sup>1,2</sup>  
 Duílio Norberto Ferronato Leite<sup>1,2</sup>  
 Matheus Moreira Barbosa<sup>1,2</sup>  
 Alexandre Alvarenga Palmeira<sup>3,4</sup>  
 Horácio Guimarães Delgado Jr.<sup>3,5</sup>

Artigo  
Original

Original  
Paper

### Palavras-chave

AHP

SMARTER

Ashby

Multicritério

Decisão

### Resumo

O presente trabalho apresenta uma sequência metodológica para fazer a seleção de materiais metálicos para calha de transporte de efluentes oriundo da limpeza de gases de um alto forno. Para sintetizarmos a proposta, utilizaremos três metodologias de análise/apoio para seleção de materiais baseados em literaturas que abordam a tomada de decisão na ocorrência de múltiplos critérios de avaliação. O primeiro é o método de tabela de Ashby, o qual se faz uso de dados obtidos através de tabelas, bancos de dados e apêndices que combinados com os requisitos específicos para cada aplicação mostrará uma primeira triagem dos materiais que serão considerados os pré-candidatos ao projeto. Posteriormente é sugerida a aplicação, de acordo com o interesse do decisor, de um ou dois métodos de análise/apoio da escola americana, o SMARTER e o AHP, que possibilitará a ratificação da tomada de decisão final. No estudo prático será avaliado o material ASTM A-36 utilizado na fabricação da uma calha que transfere água de limpeza para uma Estação de Tratamento de Efluentes, juntamente com os outros pré-candidatos. Considerando as características do projeto, o efluente a ser transferido e necessidades técnicas, por fim apresentaremos o material que melhor atenderia à aplicação. Após as análises técnicas concluiremos sobre a decisão tomada.

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia de Materiais

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo- EEL/USP- Lorena, São Paulo

<sup>5</sup> Universidade de Federal Fluminense - UFF

**Abstract**

*This work presents a methodological sequence to make the selection of metallic materials for rail transport of waste arising from the cleanup of a blast furnace gases. To synthesize the proposal, let's use three methods of analysis / support for selection based on literature that talk about decision making in the event of multiple criteria evaluation materials. The first one is the method of Ashby based in a table model, which makes use of data obtained through tables, databases and appendices that combined with the specific requirements for each application show an initial screening of materials that will be considered as pre – candidates in the project. Later is recommended to apply in accordance with the interests of the decision maker, one or two methods of analysis / support of the American School, called SMARTER and AHP respectively, which will enable the ratification a final decision. In practical study will assess the ASTM A- 36 material used in the manufacture of a chute that transfers water from a cleaning station to a Wastewater Treatment, along with the others pre - candidates. Considering the characteristics of the project, the effluent that is being transferred and technical needs, we will finally present the material that can be considered as the best application to the project. After technical analysis we will conclude about the decision. Palavras-chave: AHP; SMARTER; Ashby; Multicriteria; Decision.*

**Keywords**

AHP

SMARTER

Ashby

Multicriteria and Decision

**1. Introdução**

A utilização dos materiais metálicos está presente em nosso cotidiano apresentando-se da forma mais simples como um garfo até projetos mais complexos criados pelo homem. Existe uma vasta gama de materiais atualmente, ao selecionarmos um material várias características e propriedades particulares devem ser levadas em consideração como: resistência, adaptabilidade ao processo de fabricação, custo, etc., quando pensamos em um projeto mecânico. Estas propriedades são selecionadas de acordo com o padrão do material ou mudando as porcentagens de cada elemento químico na fabricação para alterar o produto final. Portanto na SM (Seleção de Materiais) temos que escolher aquele de acordo com as propriedades desejadas e analisarmos o que cada um oferece como vantagens e desvantagens para aplicação requerida.

Um projeto mecânico não é criado com respostas, e sim através de perguntas, pois sabe-se que qualquer item não levantado e não estudado, pode acarretar em consequências e transtornos no resultado final do projeto, como por exemplo falhas, quebras de componentes, baixa eficiência, acidentes e perda de produção ou funcionalidade. Na seleção de materiais existem critérios e métodos para direcionar na escolha do melhor material para determinado fim. Algumas dessas escolhas

podem ser feitas pela experiência do engenheiro ou projetista, outras podem utilizar de uma metodologia existente na literatura da qual, autores utilizando de conceitos teóricos e matemáticos direcionam a escolha. As metodologias encontradas na literatura são divididas em escolas devido ao fato de terem sido desenvolvidas com autores especialistas que levavam em consideração seus contextos de existência, tais como a escola francesa e a escola norte-americana. As metodologias foram desenvolvidas baseadas em métodos matemáticos, teóricos e mistos, originando assim critério de seleção de materiais para indicar a melhor escolha de quem está utilizando esta metodologia. Estes critérios são nomeados de acordo por seus criadores, e são utilizados para realizar análises quantitativas e qualitativas de características dos materiais.

**2. Revisão bibliográfica****2.1. Os Materiais Metálicos**

Segundo Callister Jr (2002), os materiais sólidos são classificados em três grupos principais: materiais metálicos, materiais cerâmicos e materiais poliméricos ou plásticos. Esta classificação é baseada na estrutura atômica e nas ligações químicas predominantes em cada grupo. Um quarto grupo, que foi incorporado

nesta classificação nas últimas décadas, é o grupo dos materiais compósitos.

Os materiais metálicos possuem suas características e aplicações bem definidas e distintas dos outros materiais. Os metais é que são relativamente resistentes, maleáveis, dúcteis, excelentes condutores de eletricidade e calor, etc. Mas a razão para que todas essas características descritas acima sejam reais, é a presença de átomos organizados numa estrutura repetitiva e regular denominada pela ciência dos materiais como Cristal.

A utilização dos materiais metálicos dentro de um projeto mecânico no contexto industrial passa por estágios que vai da concepção inicial, passa pelo desenvolvimento e alcança o serviço de campo. Para discutirmos estes estágios o projeto pode ser subdividido em 04 estágios denominados: (1) projeto preliminar, (2) projeto intermediário, (3) projeto de detalhamento e (4) desenvolvimento e serviço de campo (COLLINS, 2005).

Um projeto bem idealizado é mais do que um grupo de elementos de máquinas individuais ou conectadas. O projetista deve estar familiarizado com códigos e normas relacionadas à concepção do projeto para fazer o seu correto uso e atrelado a sua experiência prever falhas e/ou acidentes conhecendo os possíveis módulos de falhas mecânicas e garantindo o funcionamento seguro e confiável do mesmo.

## 2.2. Seleção de Materiais

Uma das atividades mais importantes na elaboração de um projeto de um engenheiro é a seleção de materiais. É um tópico que exige do profissional um elevado conhecimento e a necessidade de parcerias com profissionais de diversas áreas. Na seleção do melhor material disponível para aplicação em um projeto deve ser considerado todos os critérios importantes que segundo Juvinal e Marshek (2008), são: disponibilidade, custo, propriedades mecânicas, físicas, químicas, dimensionais e os processos de fabricação e esta atividade é tipicamente realizada com uma parte do estágio intermediário, mais em alguns casos deve ser considerada antes e/ou durante estágio preliminar.

## 2.3. Fluxo na escolha de seleção de materiais metálicos

O processo de seleção pode ser esquematizado como a figura 1 abaixo. Inicialmente existe uma gama de opções de materiais que possivelmente podem ser adaptados a um projeto de modo a não perder nenhuma oportunidade razoável. Mas conforme a aplicação de sucessivas restrições transforma essa abordagem inicial em uma mais detalhada e seletiva à medida que o processo se move para a direita da figura, o que dá a forma de um funil. Pode-se dizer que o processo de seleção inicia com uma abordagem macroscópica e termina com uma abordagem microscópica.

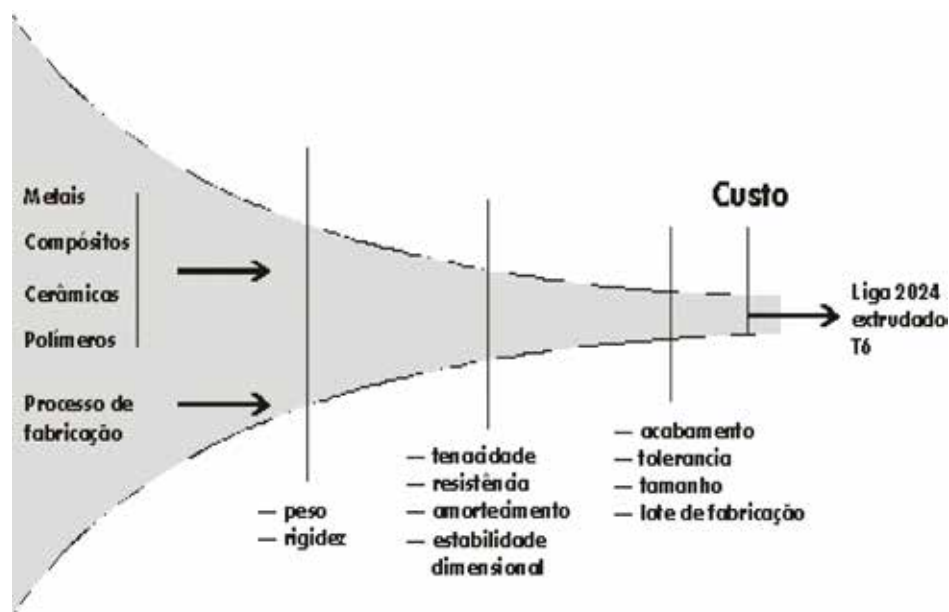


Figura 1: Esquematização do fluxo de escolha de seleção de materiais metálicos.

### 3. Métodos de seleção de materiais

Para auxílio da melhor escolha, desenvolveram-se métodos que visam facilitar aos engenheiros assertividade neste processo, com sucesso, segurança e melhor custo. Estes métodos são nomeados na literatura como métodos multicritérios de análise / apoio a decisão. Neste trabalho serão abordados três métodos: Ashby, SMARTER e AHP.

Segundo Collins (2005), as etapas básicas da seleção de materiais candidatos para uma dada aplicação são: (1) analisar os requisitos dos materiais metálicos para aplicação; (2) montar uma lista de materiais adequados, com dados pertinentes da avaliação de desempenho, ordenados de tal forma que o “melhor” material esteja no alto da tabela para cada requisito importante da aplicação; (3) combinar a lista dos materiais adequados às exigências pertinentes da aplicação de modo a selecionar os “melhores” materiais candidatos para o projeto proposto. Esta metodologia é conhecida como métodos de tabelas de Ashby.

SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) neste método segundo DA SILVA (2003) para conseguir obter os pesos de cada um dos critérios, explorou a noção intuitiva de importância e a ideia de um modelo aditivo os pesos representam a importância relativa de um atributo em relação aos outros. É um procedimento simples no qual os decisores julgavam o grau de importância de cada atributo em relação aos outros e estes julgamentos podiam ser facilmente colocados num conjunto de pesos normalizados.

AHP (Analytic Hierarquic Process): é uma ferramenta segundo BELDERRAIN & SILVA (2005), muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, in-

dicadores e verificadores. Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica. O método de análise de decisão AHP, se fundamenta na comparação de alternativas de escolhas, duas a duas, onde o decisor realiza pares de comparações relativas a duas alternativas da estrutura de decisão, questionando-se qual elemento satisfaz mais e quanto mais.

### 4. Estudo de caso e aplicação dos métodos

Para aplicação dos métodos, iremos especificar um bom material metálico na concepção de uma calha de transporte de efluentes oriundo da limpeza de gases de um alto forno. Este efluente possui características abrasivas, elevadas temperaturas, pH ácido que causa corrosão no material atual – ASTM A 36. Nosso objetivo é identificar, através destes métodos, um material candidato que seja considerado o melhor para minimizar a manutenção e troca precoce da calha.

Para iniciarmos, aplicamos o método de tabela de Ashby, conforme COLLINS (2005), que irá identificar quais materiais candidatos poderemos utilizar. Avaliando o regime de trabalho da calha, identificamos que as necessidades estão ligadas a: temperatura elevada, rigidez, desgaste a corrosão e custo.

Segundo COLLINS (2005), feito a tabela das necessidades especiais, verificamos em tabelas de materiais os melhores candidatos por ordem crescente de acordo com a necessidade avaliada. Exemplo, conforme Tabela 1, verificamos que o ferro fundido é o melhor candidato relacionado à necessidade custo, seguido do aço baixo carbono e assim sucessivamente.

**Tabela 1: Custo aproximado do material de construção mecânica. (o alinhamento é sugestão)**

Material	Custo Aproximado (US\$/lb)
Ferro fundido cinzento	0,30
Aço baixo carbono (LQ)	0,50
Aço baixo carbono (EF)	0,60
Aço de ultra-alta resistência (LQ)	0,65
Liga de zinco	1,50
Acrílico	2,00
Bronze comercial	2,25
Aço inoxidável	2,75
Epóxi (reforçado com fibra de vidro)	3,00
Liga de alumínio	3,50
Liga da magnésio	5,50
Liga de titânio	9,50

Fonte: COLLINS (2005).

Aplicando para todas as necessidades especiais, identificamos que o aço carbono SAE 1020 e o aço inoxidável AISI 304 são o melhores materiais pré-candidatos para serem comparados com o material atual utilizando os métodos SMARTER e AHP respectivamente.

Conforme a metodologia SMATER a Matriz de Objetos de Avaliação por Atributos segundo será apresentada conforme tabela 2, a seguir:

**Tabela 2: Matrix nXm de Objetos por Atributos.**

	$C_1$ Resistência a Temperatura de Trabalho Elevadas	$C_2$ Rigidez – Coeficiente de Poisson	$C_3$ Dureza [HB]	$C_4$ Custo [R\$/kg]	$C_5$ Corrosão
ASTM A 36	Varia de 20°C a 60°C	0,30	120 a 135	2,92	Alta
Aço SAE 1020	Varia de 40°C a 450°C	0,26 a 0,29	121	2,59	Média
Aço liga (AISI 304)	Suporta faixas até 1.200°C	0,30	160	12,79	Baixa

Como não há opções dominadas devido à quantidade de materiais avaliados ser pequena o cálculo para encontrar as Utilidades Unidimensionais foi feito utilizando a função

na qual as utilidades são avaliadas por julgamentos sem a especificação de variáveis físicas e os valores intermediários através de interpolações, conforme apresentado na tabela 3, a seguir:

**Tabela 3: Matriz nXm com utilidades unidimensionais.**

	$C_1$ Resistência a Temperatura de Trabalho Elevadas	$C_2$ Rigidez – Coeficiente de Poisson	$C_3$ Dureza [HB]	$C_4$ Custo [R\$/kg]	$C_5$ Corrosão
$U_{A1}$ - ASTM A 36	0,000	1,000	0,156	0,968	0,000
$U_{A2}$ - Aço SAE 1020	0,176	0,000	0,000	1,000	0,500
$U_{A3}$ - Aço liga (Aço inox AISI 304)	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000

Aplicando então a ferramenta ROC obtivemos a ordenação dos atributos que nos possibilitou efetuar o cálculo das Utilidades Multiatributo. Observou-se que com a utilização do método SMARTER a ordem criada

selecionou o Aço inox AISI 304 como a melhor aplicação dentre os candidatos analisados, conforme tabela 4, a seguir. Porém se utilizado em larga escala seu custo o tornaria inviável, devido a isto, sugere-se a segunda opção, o Aço SAE 1020.

**Tabela 4: Resultado do método SMARTER. (o alinhamento é sugestão)**

Material Candidato	Utilidade Multiatributo
$(U_{A3})$ Aço liga (Aço inox AISI 304)	0,744
$(U_{A2})$ Aço SAE 1020	0,493
$(U_{A1})$ ASTM A - 36	0,363

Aplicando os valores entre os critérios em análise, agora utilizando o método AHP (tabela 5), obtiveram-se os seguintes valores com as seguintes porcentagens:

**Tabela 5: Critérios do método AHP.**

Critérios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	(%)
C <sub>1</sub>	1	5	5	3	3	0,27
C <sub>2</sub>	1/5	1	1/6	1/6	1/7	0,02
C <sub>3</sub>	1/5	6	1	1/9	1/9	0,12
C <sub>4</sub>	1/3	6	9	1	4	0,32
C <sub>5</sub>	1/3	7	9	¼	1	0,27
<b>Totais</b>	<b>2,07</b>	<b>25</b>	<b>24,17</b>	<b>4,53</b>	<b>8,25</b>	<b>1</b>

Com isso, temos as porcentagens que deverão ser aplicadas nas multiplicações para descobrir o resultado. Cada uma destas porcentagens é multiplicada com os valores obtidos nas matrizes dos critérios, como por exemplo, a de corrosão (C5) conforme tabela 5, a seguir.

**Tabela 5: Classificação dos métodos AHP - Corrosão**

C5	ASTM A 36	Aço 1020	Aço liga	(%)
ASTM A 36	1	1/6	1/9	0,06
Aço 1020	6	1	1/5	0,32
Aço liga	9	5	1	0,62
<b>Totais</b>	<b>16</b>	<b>6,25</b>	<b>1,31</b>	<b>1,00</b>

Em seguida é realizada a multiplicação entre as porcentagens de acordo com os critérios.

#### ASTM A 36

- Prioridade Global =  $\{0,27 \times 0,37\} + \{0,02 \times 0,40\} + \{0,12 \times 0,44\} + \{0,32 \times 0,36\} + \{0,27 \times 0,06\} = 0,292$

#### AÇO 1020

- Prioridade Global =  $\{0,27 \times 0,25\} + \{0,02 \times 0,20\} + \{0,12 \times 0,44\} + \{0,32 \times 0,58\} + \{0,27 \times 0,32\} = 0,40$

#### AÇO LIGA

- Prioridade Global =  $\{0,27 \times 0,38\} + \{0,02 \times 0,40\} + \{0,12 \times 0,12\} + \{0,32 \times 0,06\} + \{0,27 \times 0,62\} = 0,308$

Nesse contexto, em função da metodologia AHP o AÇO 1020 foi escolhido para ser o novo material a ser aplicado na calha. Com base no conjunto de informações expedidas por nós, avaliadores, foi possível chegar ao aço 1020 como a melhor alternativa avaliada através dos passos preconizados pelo método AHP.

Embora esta alternativa tenha apresentado um desempenho menor que as outras à luz de alguns critérios é fato que esta reúne um conjunto de características qualificadoras e que a reunião deste conjunto tenha pesado de maneira importante para a sua escolha como o novo material a ser utilizado na calha d'água.

## 5. Conclusão

Verificamos que para realização de uma boa escolha de um material metálico em um determinado projeto, o engenheiro/projetista deve realizar uma criteriosa avaliação da aplicabilidade, características e o trabalho a ser desempenhado para que haja acerto no produto final.

Devido à alta gama de disponibilidade de materiais metálicos no mercado e suas diversas características que possibilita ao decisor analisar o material que irá melhor atendê-lo no projeto, foram desenvolvidas ferramentas de seleção, de fácil aplicação para auxiliar nas decisões analisando de forma qualitativa e quantitativa os materiais.

As ferramentas de seleção que encontramos na literatura, nos facilitaram na escolha do melhor material para reduzirmos o desgaste e paradas de manutenção da calha da estação de tratamento de efluentes. Sendo assim, aplicamos as ferramentas em um estudo de caso, onde o método de tabelas de Ashby nos permitiu chegar a três materiais pré-candidatos para verificarmos qual seria o melhor a ser aplicado no projeto da calha. Com a aplicação deste método de tabela, chegamos aos materiais ASTM A36, Aço SAE 1020 e Aço Liga, sendo adotado o AISI 304 em virtude de custo e mediamente ao maior acesso no mercado. A partir disto, aplicamos duas ferramentas desenvolvidas chamados de Método de SMARTER e AHP respectivamente.

Aplicando o método de SMARTER fomos direcionados a melhor opção que foi aço INOX AISI 304. Porém, nem sempre a melhor opção será a melhor escolha, pois com apli-

cação do AHP verificamos que o mesmo nos direcionou ao aço SAE 1020. Somado com o fator de grande relevância dos tempos atuais, onde todo projeto busca adequar custo e benefício, optamos para o projeto de fabricação da calha o aço a SAE 1020.

Percebemos a necessidade de verificar em duas ferramentas a melhor escolha, pois o método SMARTER direcionou para o melhor material, já o método AHP direcionou para o material que melhor preenchia todos os requisitos dos critérios avaliados. Os métodos citados, nos orientou de forma consistente a aplicarmos o aço 1020 no projeto de fabricação da calha, pois este material se apresentou como o melhor material nos requisitos indicados pelos métodos, nos seguintes itens: dureza, resistência à temperatura, resistência a corrosão, rigidez e custo. Desta forma, todo projeto mecânico de fabricação pode ser utilizar destas ferramentas para alinhar o custo benefício do projeto.

---

## 6. Referências Bibliográficas

CALLISTER JR., W. D. *Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução*. 5. ed. LTC, 2002.

COLLINS, J. *Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas*. LTC, 2005.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M., **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas**. 4ª Ed. LTC, 2008.

DA SILVA, S. F. **Modelo multicritério para ordenação dos pontos monitorados de um sistema elétrico com base nos métodos SMART/SMARTER**. Dissertação (Mestrado). UFPE, Recife, 2003.

BELDERRAIN, M. C. N. & SILVA, R. M. **Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério**. In: XI Encontro de Iniciação Científica e Pós Graduação do ITA 2005, 2005, São José dos Campos. Anais do XI ENCITA, 2005. v. 1. p. 1-7.