



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

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

“INFLUÊNCIA NOS CUSTOS DE FABRICAÇÃO DE SISTEMAS ENGRENADOS DEVIDO AO MATERIAL E TRATAMENTO TÉRMICO”

AUTORES:

Marco Stipkovic Filho

Prof Dr Livre-Docente da Escola Politécnica - USP

Prof Dr Adjunto da Escola de Engenharia Mackenzie - UPM

e-mail: kovic@osite.com.br

Carlos Oscar Corrêa de Almeida Filho

Prof Ms Associado Assistente da Escola de Engenharia Mackenzie - UPM

Prof Associado da Escola de Engenharia Mauá – IMT

e-mail: cocaf@uol.com.br

Marco Antonio Stipkovic

Gerente Geral de Engenharia – Prensa Schuler S.A.

Prof Assistente da Escola de Engenharia Mauá – IMT

e-mail: marco.stipkovic@schuler.com.br

***Resumo:** O presente trabalho objetivou o desenvolvimento de uma série de recursos informativos sobre engrenagens cilíndricas e seus custos de fabricação. É importante destacar que a maior parte dos custos de fabricação de um determinado produto é relacionada ao desenvolvimento, à concepção básica e ao projeto propriamente dito. É, por essa razão, que o projetista de máquinas tem uma grande responsabilidade pelos custos envolvidos. Essa responsabilidade só lhe poderá ser atribuída se ele tiver à sua disposição informações para o projeto com vantagens de custos. Procurou-se, por meio de consulta às empresas fabricantes de engrenagens, o levantamento de dados relativos aos custos observados por cada uma nos diferentes elementos fabricados. A pesquisa desenvolvida com diferentes empresas garantiu o anonimato, podendo, entretanto as empresas reconhecerem a si mesmas nas avaliações através de uma senha. Os documentos envolvidos abrangem desenhos das peças processadas e calculadas e, ainda, formulários de cálculos correspondentes. Foram analisados tempos e custos para determinar a influência de parâmetros individuais, que variam em limites amplos no contexto desse trabalho. Variou-se o processo de fabricação, o tratamento térmico, o material, o tamanho do lote de fabricação, a profundidade da tempera, a dureza. Numa fase de síntese compararam-se os dados específicos das diferentes empresas uns com os outros e, num segundo passo, com base nos dados obtidos na fase de análise, utilizando-se de princípios de crescimento de custos, foram determinadas sugestões, sempre em função de diversas grandezas de influência.*

***Palavras-chave:** Fabricação, Custos, Engrenagens*

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos custos de fabricação de um produto é ligada ao desenvolvimento, à concepção básica e ao projeto propriamente dito.

Por este motivo, o engenheiro mecânico de projetos tem uma grande responsabilidade pelos custos e, essa responsabilidade somente poder-lhe-á ser atribuída se ele tiver ao seu alcance informações para o projeto com vantagens nítidas de custos de fabricação. (SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS)

As exigências feitas aos produtos não dependem somente do próprio produto, mas estão sujeitas também às transformações ditadas pelo tempo. Enquanto, em anos anteriores, o que estava em primeiro plano eram exigências relativas ao funcionamento, à confiabilidade e aos prazos, atualmente tem preponderância o aspecto econômico (STIPKOVIC FILHO, 1991), a compatibilidade com o meio ambiente e, dependendo da situação, também aos prazos.

Como causas principais, às quais atribuírem a significação das exigências econômicas, poderiam citar:

- O cumprimento satisfatório da função é atualmente exigido como condição prévia de conformidade com o estado atual de tecnologia e, assim, não é mais visto como argumento decisivo de vendas;

- Tornou-se mais forte a pressão dos custos exercida pelos fatores de produção, capital e trabalho, bem como, pela matéria prima e energia;

- Crescem enormemente as pressões da concorrência interna e externa;

- Capacidades de produção em excesso fazem também pressão sobre os preços de mercado.

Para um pré-cálculo e influência sobre função e confiabilidade, estão a disposição do projetista numerosos subsídios de acordo com a sua formação orientada de forma tradicional e técnica. Contudo, a exigência de baixos custos de fabricação em geral (BRUCKNER, 1993), só pode ser cumprida por mera percepção, quando se trata de produção unitária ou de pequenas séries.

O efeito sobre os custos, tratando-se de determinações relativas ao projeto, só se torna conhecido depois de um pré-cálculo feito na preparação do trabalho (STIPKOVIC FILHO, 1990). No caso de fabricação unitária ou de pequenas séries, já terá decorrido, então, tanto tempo que já não é mais possível uma modificação do projeto.

Os subsídios foram formulados de forma que suas informações sejam percebidas como consequentes pelo aplicador. A plausibilidade é uma condição importante para a notabilidade e consequente aplicação dos subsídios.

O valor de uma informação é determinado pela sua utilidade para o processo decisório e pelos custos incorridos na obtenção da informação. A utilidade para o processo decisório deve ser sempre superior a dos custos originados na obtenção da informação.

2. CUSTOS DE FABRICAÇÃO

Na literatura (STIPKOVIC FILHO, 1990) encontramos apenas esporadicamente referências sobre a influência de grandezas construtivas sobre os custos de fabricação de engrenagens retas. NIEMANN (1967), descreve comparações de custos de jogos de engrenagens retas com momentos de torção - transmissíveis iguais, porém com diferentes materiais, tipo do tratamento térmico e qualidade da engrenagem. Não diz nada sobre a influência dos custos por outros parâmetros construtivos. BRANDT (1958) e WENDT (1964) executaram pesquisas sobre custos em engrenagens, mas a finalidade era uma comparação econômica entre diversas empresas e a formação de valores para a técnica de fabricação.

LORENZEN (1976) apresenta num artigo um cálculo abreviado para engrenagens retas. A determinação dos custos de fabricação é feita de maneira que, com a ajuda de diagramas, são determinados os custos padronizados do material e da usinagem que valem para definidas formas de engrenagens. A influência de outros parâmetros construtivos é compreendida por fatores de influência. O processo presume lotes padronizados, nada se diz sobre precisão e limites de validade. Podemos supor que o processo é válido somente numa faixa estreita de grandezas, porque o uso de fatores de influência é possível quando as estruturas de custos são constantes.

Na maioria dos livros sobre elementos de máquinas encontram-se indicações para o planejamento de jogos de engrenagens e são recomendadas certas relações entre o diâmetro e a largura, ou recomendações de certos números de dentes. (NIEMANN, 1991)

Como razões são mencionados valores de limite técnico e volumes mínimos de fabricação. Pesquisas referentes aos custos não são mencionadas.

3. POSSIBILIDADE DE INFLUENCIAR OS CUSTOS ATRAVÉS DE MEDIDAS CONSTRUTIVAS

Uma análise em forma de consulta entre 11 fabricantes de redutores com capacidade de 700 CV resultou num quadro de distribuição de custos entre os diversos componentes mostrados na fig. 1. Esta distribuição depende de muitos fatores e seria diferente quando se tratando de outra capacidade, outra redução ou outro tipo de redutor. Presume-se que o jogo de engrenagens, pelo menos em redutores de alta capacidade, representa parte considerável dos custos de fabricação, de maneira que uma diminuição dos custos deste componente trará vantagens (RICHTER, 1990).

O problema é até que ponto existe liberdade na construção de um elemento como é a engrenagem, cujas medidas são determinadas por sua função.

As dimensões e tolerâncias das engrenagens são determinadas pela resistência, mas dentro destes limites podem ser escolhidas diferentes grandezas (por ex.: escolha de módulo, escolha da relação largura / diâmetro).

Também podem ser escolhidas dentro de certos limites e qualidade das superfícies e o material.

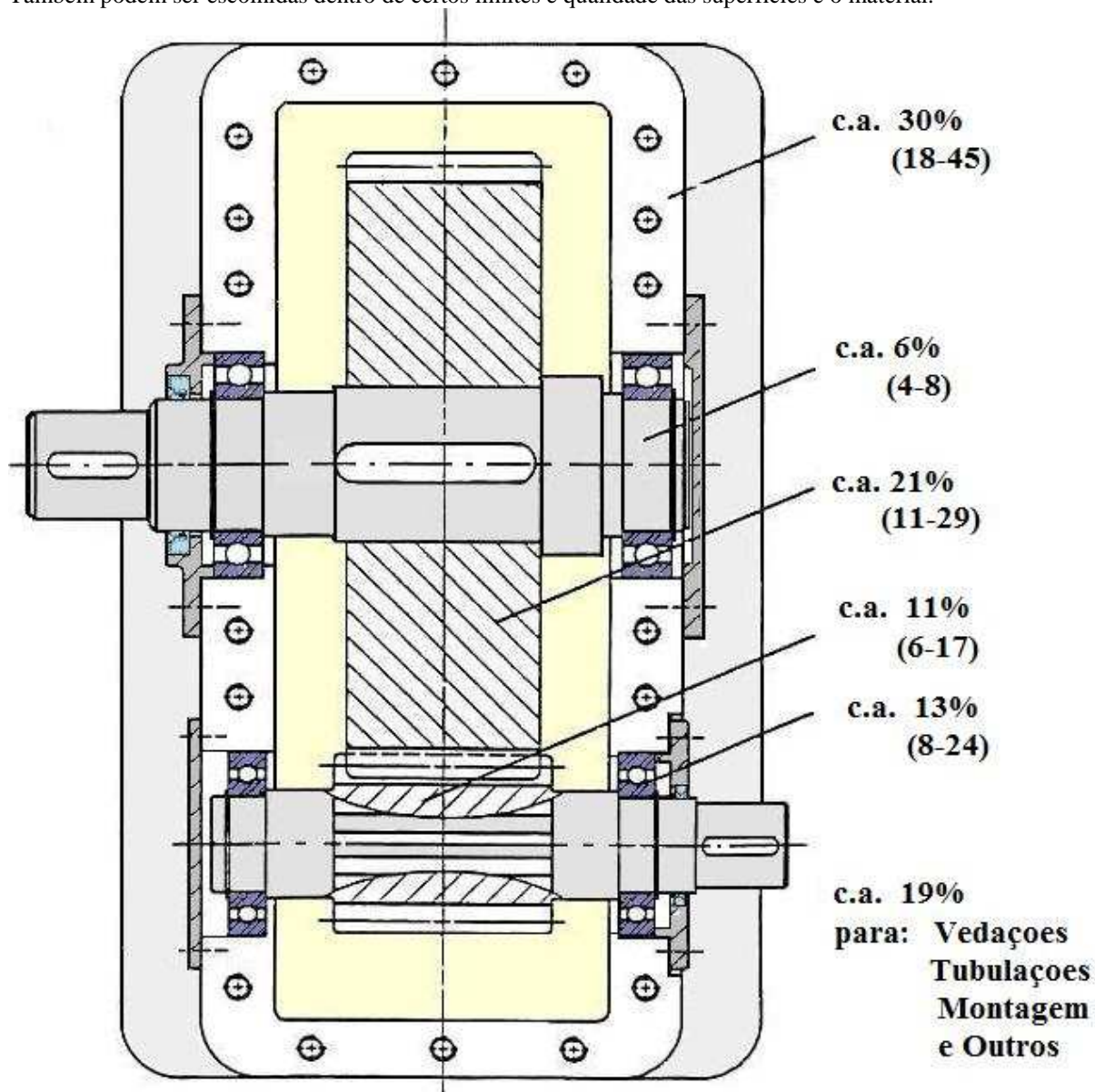


Figura 1: Estruturação de custos de um redutor com engrenagens cilíndricas retas com capacidade de 700 CV (baseado em informações de diferentes fabricantes)

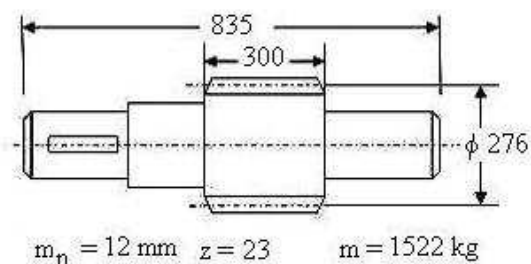
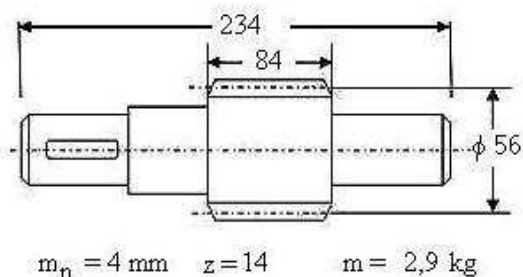
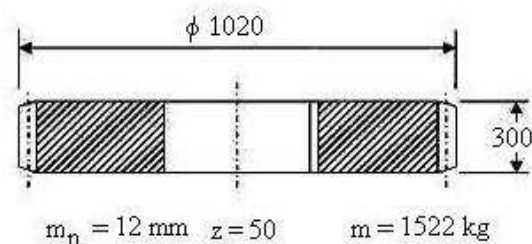
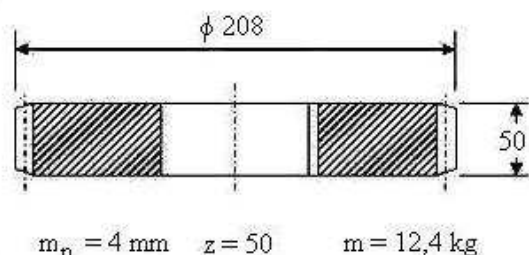
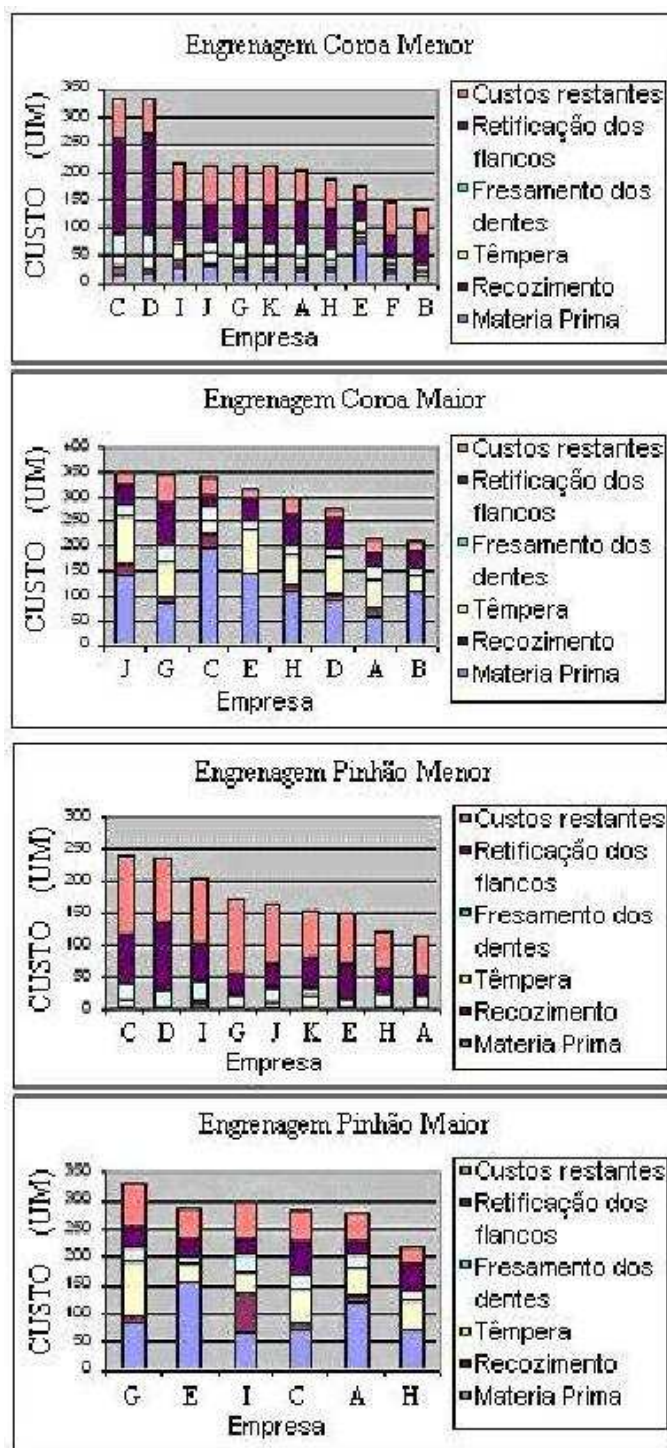
A quantidade de peças é imposta pelo mercado, mas o construtor pode, pela padronização dentro da empresa, influenciar as possíveis quantidades dos lotes de fabricação.

Assim existem também nas engrenagens, bastantes possibilidades de se ter uma escolha entre variáveis que são tecnicamente iguais e onde a decisão tem que ser feita com respeito aos custos.

Não são absolutamente necessários conhecimentos sobre a influência sobre os custos de outras grandezas construtivas, porém faz sentido. Estes conhecimentos podem ser úteis na composição da relação de exigências. Uma exigência será mais aceitável quando propiciar custos mais baixos

É também possível questionar as restrições, contidas nas listas de exigências, quando a questão dos custos o permite (Ex.: a exigência de engrenagens com tratamento térmico levará a maiores custos do que aqueles para engrenagens simplesmente cementadas e, por isto, não deveria ser aceita). (SHIGLEY, 1986)

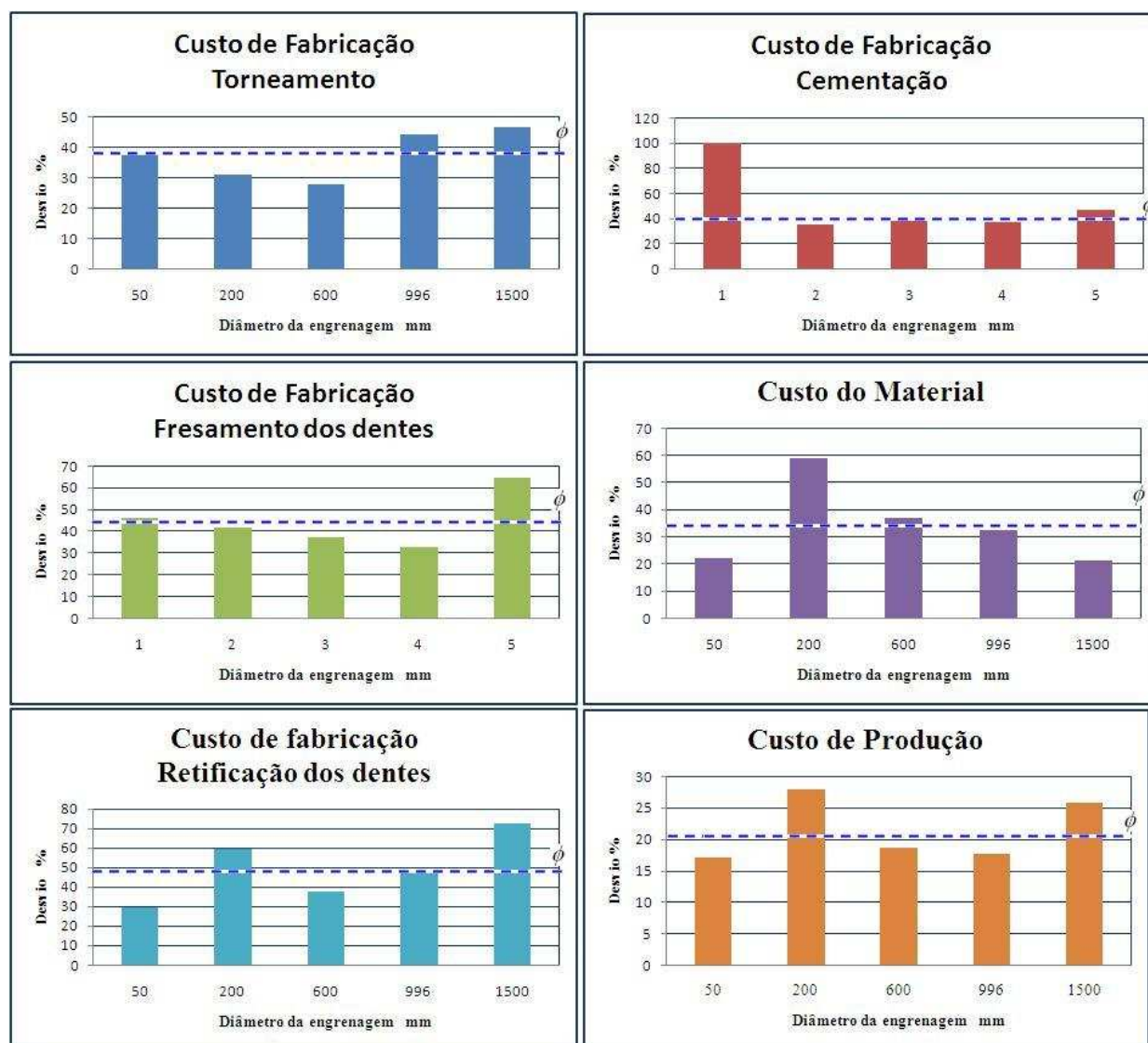
A valorização destes cálculos, executados pelas diversas empresas, mostrou que foram constatados custos de fabricação extremamente diferentes para peças idênticas. Nas figuras 2 a 5 são mostrados os resultados dos cálculos para duas engrenagens retas e dois pinhões incorporados aos eixos. As empresas são designadas com as letras "A" até "K", por razão de sigilo, todos os custos foram indicados em "unidades de moeda" (UM). Cada empresa recebeu uma senha por meio da qual pode acessar o artigo e se identificar perante as demais. Esta comparação permitiu às empresas uma revisão no próprio sistema de fabricação e custeio resultando em algumas situações em redução do custo e conseqüente maior capacidade de concorrência face à correspondente redução do preço final do produto.



Dados básicos: Material Aço ABNT 5115 com lote de 4 peças

Figura 2 – Divergências de custo de fabricação (CF) de engrenagens e pinhões em função de diferentes empresas (A, B, C,.....)

A figura 3 explica as divergências entre as diversas empresas, com respeito ao cálculo das engrenagens ENG1 – ENG5.



Dados básicos:

Lote de 4 peças, Ø = valor médio para todos os tamanhos

Número de cálculo: d = 50 mm : 9, d = 200 : 11, d = 600 : 10, d = 996 : 8, d = 1500 : 7

Figura 3 – Desvios no cálculo de engrenagens iguais em diversas empresas

Podemos ver que as diferenças dos custos de fabricação e dos custos do material são maiores do que dos custos de produção. Assim as diferenças se compensam parcialmente

4. DIFERENÇAS NOS CUSTOS DO MATERIAL

As diferenças nos custos dos materiais tinham sua origem nas divergências dos custos particulares do material (REFA, 1973). Foram, porém, também encontradas diferenças, causadas pelas diferentes medidas da peça bruta que alteraram o peso. Estes importaram em 10%, até em peças com peso de 2000 Kg. Na fig. 4 são projetados os preços de material, conforme informações dadas pelas empresas.

Os aços ABNT 5115, ABNT 4140 e ABNT 8620 são materiais mais frequentemente usados.

As divergências podem ser explicadas parcialmente pelo tipo de tratamento preliminar da peça bruta, apesar de que foram encontradas diferenças até 1:2 quando a condição da peça bruta era a mesma. Valores relativos para o cálculo do preço dos materiais que foram formados na base das informações das empresas (tabelas 1,2 e 3), mostram que não podem ser tiradas conclusões gerais.

Como razão para essas grandes divergências nos preços de material foram mencionadas justificativas com diferentes fornecedores, descontos, quantidades de compra, bem como diferentes exigências com respeito à qualidade e tratamento térmico.

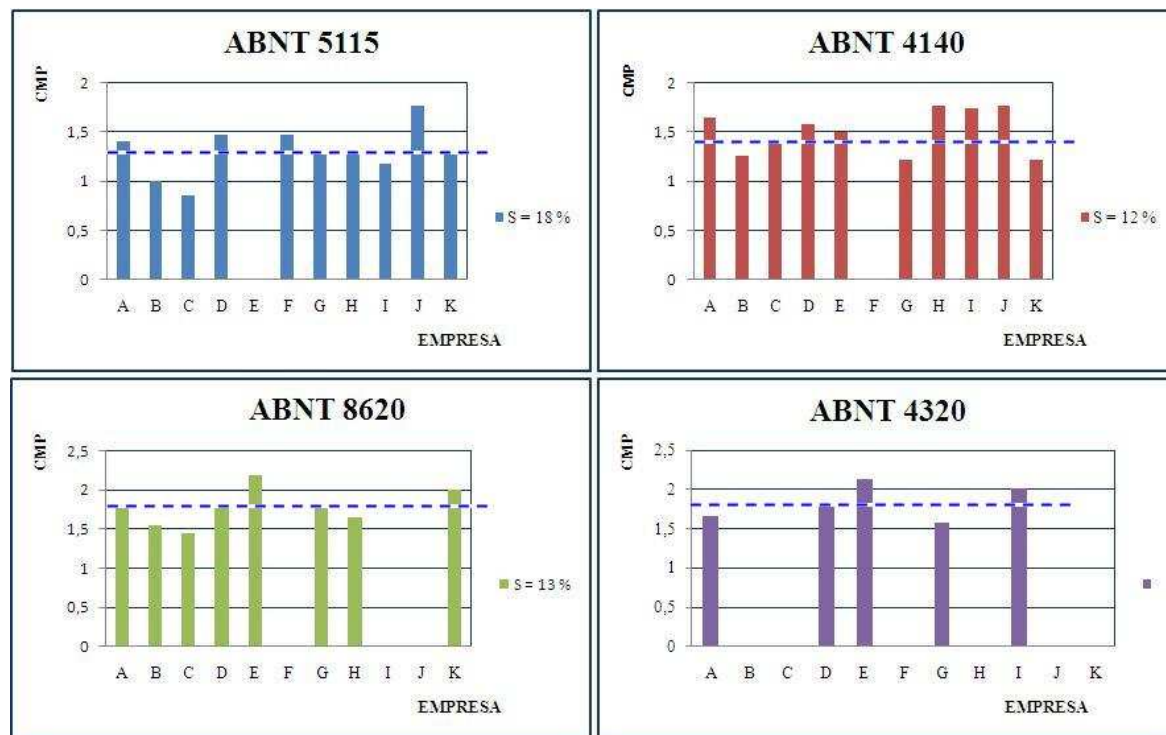
5. DIFERENÇAS NOS CUSTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO

Nas engrenagens e nos pinhões foram aplicados os seguintes tipos de tratamento térmico. (13) (14)

ABNT 5115: Recozimento após o torneamento Cementação após a fresagem dos dentes

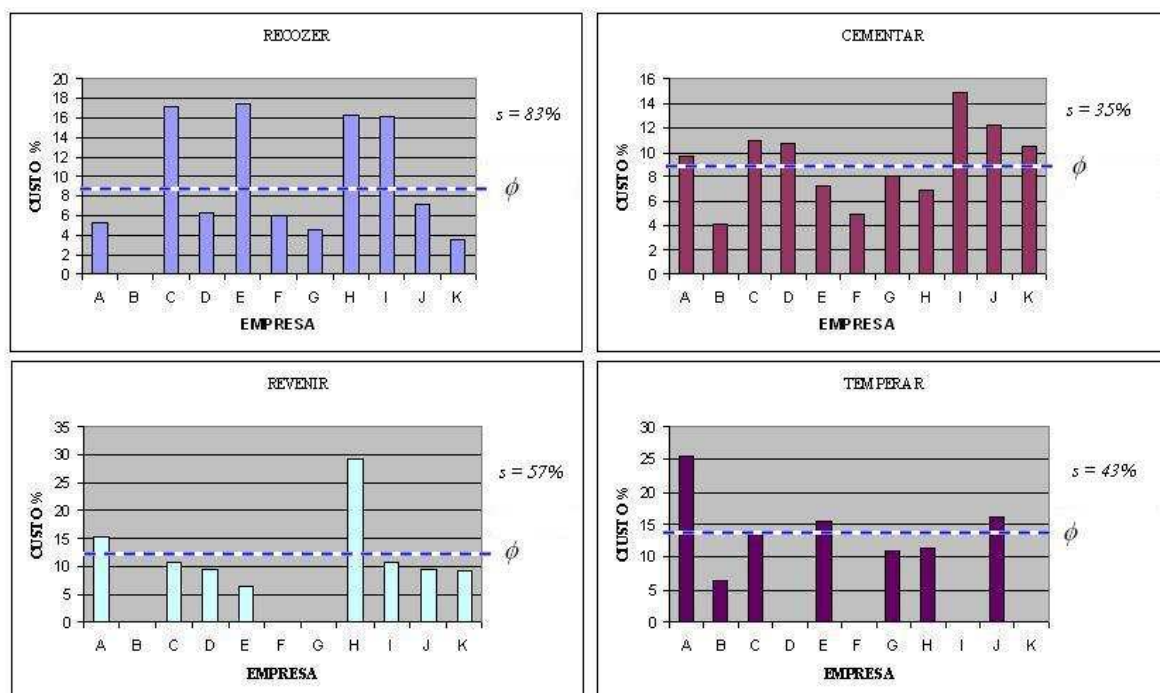
ABNT 4140: Revenimento para 850-900 N/mm² após o torneamento.

ABNT 4140: Revenimento para 850-900 N/mm² após o torneamento. Nitretação após a fresagem dos dentes



CMP = custo de material por peça; s = desvio

Figura 4 – Diferenças entre empresas em taxas de custo de material por unidade



Taxas para tratamento térmico: Ø valor médio; s = desvio padrão

1 – peso calculado pelo diâmetro externo; 2 – torneamento da camada para zonas não cementadas; Indicação do custo para lotes de 4 peças; CTT = custo de tratamento térmico

Figura 5 – Diferenças entre empresas para tratamento térmico

Tabela 1 – Custos relativos do material para barras forjadas de material Aço ABNT 5115 com diferentes dimensões

Empresa	CM (0-70) (base)	CM (0-200)	CM (0-320)
A	1,0	1,00	0,88
C	1,0	0,92	
D	1,0	1,98	
E	1,0	1,40	
G	1,0	1,14	
H	1,0	1,05	
I	1,0	1,00	1,05
J	1,0	1,20	1,00
		<i>Média</i> · 1,24 ^{+0,74} _{-0,32}	<i>Média</i> · 1,03 ^{+0,17} _{-0,12}

Tabela 2 – Custos relativos do material para barras forjadas de material Aço ABNT 5115 com dimensões iguais

Empresa	Barra Forjada Ø = 220 mm			
	CM ABNT 5115 base	CM ABNT 4140	CM ABNT 8620	CM ABNT 4320
A	1,0	1,10	1,25	1,25
B	1,0	1,17 °	1,50	1,33
C	1,0	1,50	1,61	
D	1,0	1,15	1,31	
E	1,0	1,00	1,43	
G	1,0	1,02 °	1,34	
H	1,0	1,05	1,33	
I	1,0	1,08	1,17	1,67
J	1,0	1,00		
K	1,0	1,14		
		<i>Média</i> · 1,13 ^{+0,37} _{-0,13}	<i>Média</i> · 1,37 ^{+0,24} _{-0,20}	<i>Média</i> · 1,41 ^{+0,26} _{-0,16}

°° revenido

Tabela 3 – Custos relativos do material para discos vazados de material Aço ABNT 5115 com dimensões iguais

Empresa	Barra Forjada Ø = 220 mm			
	CM ABNT 5115 base	CM ABNT 4140	CM ABNT 8620	CM ABNT 4320
A	1,0	1,81	2,09	2,07
B	1,0 °	1,03 °°	1,18 °	1,93
C	1,0	1,00	2,07	
D	1,0	1,72		
E	1,0 °	1,03 °	1,25	
G	1,0	1,11 °	1,25	
H	1,0 °	1,17 °°	1,30	
J	1,0	1,23 °°		1,13
		<i>Média</i> · 1,26 ^{+0,55} _{-0,26}	<i>Média</i> · 1,52 ^{+0,57} _{-0,34}	<i>Média</i> · 1,59 ^{+0,48} _{-0,46}

° desbastado

°° revenido

°°° desbastado e revenido

6. CONCLUSÃO

Os custos do tratamento térmico são normalmente calculados com ajuda de tabelas e são dependentes do peso da peça. Divergências nos pesos das peças têm sua origem na maneira de cálculo do peso (Roda como cilindro com diâmetro externo = diâmetro da cabeça ou diâmetro externo = diâmetro primitivo) ou, quando se trata de aços cementados, no modo de preparação (lugares que não devem ser cementados são protegidos, ou posteriormente torneados). Estes pontos têm que ser considerados na formação dos preços. Na fig. 5 são projetadas as tabelas de cálculo do preço para recozimento, cementação, revenimento e nitretação de maneira como foram indicados pelas

empresas para engrenagens retas com diâmetro primitivo de 200 mm e 996 mm. Entre as diversas empresas aparecem consideráveis diferenças. A razão principal para estas é o modo de custear as despesas do departamento de tratamento térmico ou quando se trata de executar o tratamento fora da empresa. O porte da empresa e a sua carteira de pedidos influenciam na medida que o estoque de matéria prima é maior para atendimento dos pedidos de clientes e o volume de material enviado para tratamento térmico é maior por lote de fabricação mesmo que de itens diferentes resultando em um custo unitário menor. Este fato pode ser decisivo na escolha do fornecedor mesmo para pequenos lotes de fabricação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS (Ed.). Manufacturing management: Cost recovery. In: *Tool and manufacturing engineers Handbook*. vol.5, USA, 1988.
- STIPKOVIC FILHO, M. Tendências na Manufatura. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 3 dez. 1991.
- BRUCKNER, J. Design for Manufacturability. In: THE ASME NATIONAL DESIGN ENGINEERING CONFERENCE, 1993, Chicago - *The American Society of Mechanical Engineers*, V.52, p. 111 – 115.
- STIPKOVIC FILHO, M. Cuidados na Escolha do Processo de Fabricação de Engrenagens. *Máquinas e metais*, São Paulo, Fev. 1990.
- NIEMANN, G.; RETTIG, H. *Tragfähigkeitssteigerung bei gehärteten und ungehärteten Zahnrädern*. VDI. Bericht 105, S.11.18, 1967.
- BRANDT, L. *Überbetrieblicher Verfahrensvergleich*. Forschungsberichte des Wirtschafts, und Verkehrs, ministeriums Nordrhein-Westfalen Nr. 446, köln und Opladen: Westdeutscher Verlag, 1958.
- WENDT, K.G. *Möglichkeiten und Grenzen der Ermittlung von fertigungstechnischen Zennzahlen und Richtwerten*, erörtert am Beispiel der Zahnradherstellung. Köln, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1964.
- LORENZEN, H.C. *Wirtschaftliche Produktgestaltung*. In: *Leistungs - steigerung von Entwicklung und Forstchung im Maschinenbau*, Frankfurt VDMA, Verlag 1976.
- NIEMANN, G. *Elementos de Máquinas*, Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1991.
- RICHTER, E.; WILMERS, R. Redutores cementados e temperados. III Seminário Brasileiro de Engrenagens EPUSP São Paulo, 3 jun. 1990.
- SHIGLEY, J.E.; MISCHKE, C.R. *Spur Gears: Heat treatment*. In: *Standard Handbook of Machine Design*, New York: Mc Graw Hill, 1986.
- REFA (Ed.) *Methodenlehre des arbeitsstudiums*. Teil 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung. München: Carl Hanser Verlag, 1973.

“MATERIAL AND HEAT TREATMENT INFLUENCE IN MANUFACTURING COSTS ON GEARS SYSTEMS”

AUTORES:

Marco Stipkovic Filho

Prof Dr Livre-Docente da Escola Politécnica - USP

Prof Dr Adjunto da Escola de Engenharia Mackenzie - UPM

e-mail: kovic@osite.com.br

Carlos Oscar Corrêa de Almeida Filho

Prof Ms Associado Assistente da Escola de Engenharia Mackenzie - UPM

Prof Associado da Escola de Engenharia Mauá – IMT

e-mail: cocaf@uol.com.br

Marco Antonio Stipkovic

Gerente Geral de Engenharia – Prensa Schuler S.A.

Prof Assistente da Escola de Engenharia Mauá – IMT

e-mail: marco.stipkovic@schuler.com.br

Abstract: This work goals to developing a series of informative resources on cylindrical gears and their manufacturing costs. It is important to point out that the majority of the manufacturing costs of a certain product is linked with the development, the basic conception, and the design. It is for this reason that the designer of machines has a great responsibility for the involved costs. This responsibility may only be assigned to him if he has available the information for the design provided with cost advantages. Trought consult gears manufacturing companies the data were pick up for each one of the diferent elements maked. The research developed with different companies ensured their anonymity, despite being recognized on the evaluations by a password. The documents included comprise drawings of processed and calculated parts, as well as the corresponding calculation forms. Times and costs for establishing the influences of the individual parameters, which vary within wide limits in the context of this work, were evaluated. The manufacturing process, the heat treatment, the material, the size of the manufacturing lot, the

hardening depth, the hardness etc. also varied. The specific data of the different companies were compared at a synthesis stage, and suggestions were later established, based on the data obtained at the review stage and on cost growth principles, several influence magnitudes being always considered.

Keywords: Manufacturing, Costs, Gears