

MELCONIAN, Marcos Vinicius. "Conclusões", p.109-113. In  
MELCONIAN, Marcos Vinicius. **Modelagem numérica e computacional  
com similitude e elementos finitos**, São Paulo: Editora Edgard Blücher,  
2014. ISBN 978-85-8039-090-2  
<http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-melconian-07>

# 7

## CAPÍTULO

# CONCLUSÕES

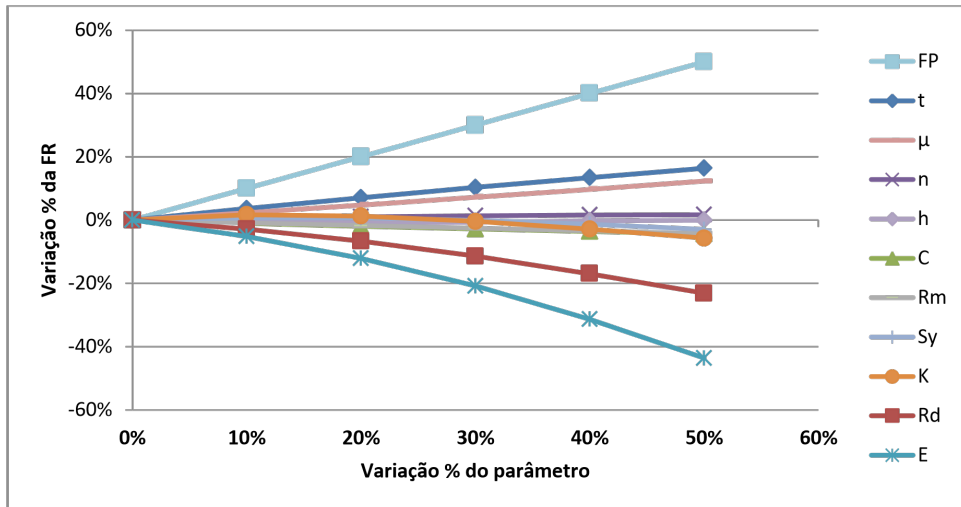
Neste último capítulo, são apresentadas as conclusões sobre a pesquisa realizada, considerando as contribuições proporcionadas pelo estudo, para o desenvolvimento de referências no âmbito acadêmico e industrial. As recomendações para trabalhos futuros são apresentadas com a intenção de se listar novas oportunidades para que esta e outras pesquisas continuem sendo desenvolvidas, ampliando o leque de referências sobre o tema.

## 7.1 CONCLUSÕES SOBRE A PESQUISA

Por meio dos resultados obtidos, foi possível revalidar a aplicação da metodologia utilizada neste estudo, anteriormente comprovada por Duarte (2007).

Os testes de validação apontaram que os resultados da EPG elaborada com FP igual a 50 kN, apresentaram resultados mais próximos aos valores experimentais quando comparados com os resultados da EPG elaborada com FP igual a 100 kN. Por este motivo, a primeira foi a equação programada no aplicativo.

Realizando a análise de sensibilidade da EPG obtida, é possível verificar o grau de importância de cada parâmetro na resposta da FR. A Figura 55 apresenta esta análise, em que é expressa a variação percentual da FR, quando os parâmetros inicialmente constantes, já apresentados anteriormente na Tabela 10, sofrem uma variação individual de 0% a 50%.

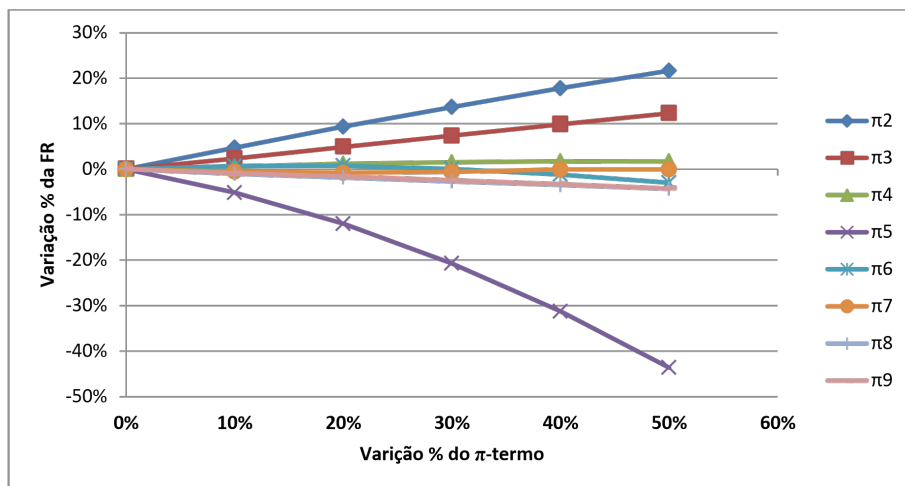


**Figura 55** – Análise de sensibilidade da FR em relação a cada parâmetro presente na EPG elaborada

Em ordem crescente, nota-se que a FR tem sensibilidade positiva, ou seja, é aumentada pela variação dos seguintes parâmetros: Penetração (h), Expoente de encruamento (n), Atrito ( $\mu$ ), Espessura da chapa (t) e a Força do prensa-chapas (FP).

Os demais parâmetros apresentam sensibilidade negativa e estão apresentados de maneira crescente na magnitude de sensibilidade na seguinte ordem: Folga (C); Raio da matriz (R<sub>m</sub>); Limite convencional de elasticidade (S<sub>y</sub>); Constante de encruamento (K); Raio do Freio (R<sub>d</sub>) e Módulo de Young (E).

Quando agrupados nos termos adimensionais, tem-se sensibilidade de cada um dos  $\pi$ termos, conforme ilustra a Figura 56.



**Figura 56** – Análise de sensibilidade da FR em relação a cada parâmetro presente na EPG elaborada

Os parâmetros estão distribuídos em ordem crescente de importância da seguinte forma:

- Sensibilidade positiva :  $\pi_4 (n)$ ,  $\pi_3 (\mu)$  e  $\pi_2 (t/R_d)$ ;
- Sensibilidade negativa :  $\pi_7 (h/R_d)$ ,  $\pi_6 (S^v/E)$ ,  $\pi_9 (R_m/R_d)$ ,  $\pi_8 (C/R_d)$  e  $\pi_5 (K/E)$ .

Um ponto importante a ser mencionado, é que a FP influencia diretamente nos resultados obtidos, não só pela sua alta sensibilidade na resposta do modelo, como também pela necessidade de se calibrar uma força adequada para todos os parâmetros, de forma a manter o freio fechado durante todas as simulações, sem causar a estricção da chapa por força excessiva e impedindo o seu deslizamento.

Em alguns casos, quando a FP é excessivamente grande, a chapa fica pressionada entre o freio e a matriz, podendo sofrer uma leve estricção ou até mesmo alcançar o limite de ruptura, invalidando o teste.

A ruptura não foi verificada nas simulações efetuadas, porém em alguns casos, por exemplo: Quando, a espessura da chapa era reduzida, o módulo de Young próximo ao do alumínio e o limite de elasticidade muito pequeno, observou-se através do recurso gráfico de cores (ou mapa de calor) do *software* utilizado, que em certos pontos a chapa sofreu uma leve diminuição na espessura, resultado de uma tensão mecânica excessiva. Sem dúvidas, isso pode ter comprometido a precisão dos resultados obtidos pela equação obtida com FP igual a 100 kN.

A obtenção de uma solução com erro inferior ao anteriormente calculado por Duarte (2007) era uma das propostas deste trabalho, além do aumento significativo dos limites de validade da estabelecidos para os materiais.

Em sua solução Duarte (2007), obteve a média dos valores absolutos das diferenças percentuais igual a 6%, quando os valores da EPG foram comparados com os valores obtidos experimentalmente por Nine (1978), neste trabalho esta diferença foi reduzida para 5%. Em relação aos parâmetros de materiais, este estudo ampliou a validade das equações obtidas, para uma grande variedade de materiais, bastante utilizados na indústria. A Tabela 17 apresenta o comparativo entre os limites de validade para cada  $\pi$  – termo entre a EPG desenvolvida por Duarte (2007) e Melconian (2014), desenvolvida neste trabalho.

**Tabela 17 – Comparativo dos limites de validade dos  $\pi$ - termos da EPG de Duarte (2007) e de Melconian (2014)**

$\pi$ -TERMO	INTERVALOS DUARTE (2007)	INTERVALO DA EPG MELCONIAN (2014)
$\pi_2 = \frac{t}{R_d}$	$0,10 \leq \pi_2 \leq 0,35$	$0,08 \leq \pi_2 \leq 0,40$
$\pi_3 = \mu$	$\pi_3 \leq 0,30$	$\pi_3 \leq 0,30$
$\pi_4 = n$	$0,10 \leq \pi_4 \leq 0,30$	$0,10 \leq \pi_4 \leq 0,45$
$\pi_5 = \frac{E}{K}$	$100 \leq \pi_5 \leq 500$	$50 \leq \pi_5 \leq 900$
$\pi_6 = \frac{S_y}{K}$	$0,15 \leq \pi_6 \leq 1,20$	$0,03 \leq \pi_6 \leq 4,0$
$\pi_7 = \frac{h}{R_d}$	$0,70 \leq \pi_7 \leq 2,50$	$1,0 \leq \pi_7 \leq 2,60$
$\pi_8 = \frac{c}{R_d}$	$0,15 \leq \pi_8 \leq 0,30$	$0,15 \leq \pi_8 \leq 0,30$
$\pi_9 = \frac{R_m}{R_d}$	$0,30 \leq \pi_8 \leq 1,50$	$0,30 \leq \pi_8 \leq 1,8$

Analisando os  $\pi$  – termos de natureza de materiais, nota-se que a EPG desenvolvida é válida para diversos materiais, como alumínio e suas ligas, cobre, platina, bronze, aços e demais materiais metálicos que possuem características mecânicas situadas entre:

- Modulo de Young (E): 60.000 a 220.000 MPa;
- Limite Convencional de Elasticidade: 20 a 1000 MPa;
- Expoente de encruamento (n): 0,1 a 0,5;
- Constante de encruamento (K): 250 a 1500 MPa.

Como resultado do estudo, um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android foi criado, como forma de se contribuir, com o auxílio da automação, com a qualidade da produção industrial de peças obtidas, por meio de conformação mecânica e que utilizem de forma especial os freios semicirculares no processo de estampagem.

Além do mais, a otimização do tempo e aumento da qualidade das peças produzidas com o mínimo de testes, redundam em considerável economia de energia do parque industrial brasileiro. As vantagens em termos ambientais e consequentes, benefícios indiretos na questão da sustentabilidade por meio da redução do consumo energético são efeitos secundários, mas de primeira grandeza, no contexto energético em que o mundo se encontra, atualmente.

## 7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o estudo foi possível observar que a metodologia adotada para a elaboração da EPG, respondeu com precisão, aos dados obtidos em campo. O que valida à aplicação do estudo para demais casos, como:

- Para freios com geometrias distintas da convencional seção circular aqui investigada, como por exemplo, seção retangular, em “*step*”, etc;
- Fazer a análise de sensibilidade para outros parâmetros, como coeficiente de Poisson e densidade do material da chapa, neste estudo desconsiderados;
- Ampliar o intervalo de validade dos  $\pi$ -termos aqui investigados;
- Elaborar aplicativos compatíveis com demais sistemas operacionais de dispositivos móveis.