



**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

## **VERIFICAÇÃO DA CAVITAÇÃO EM VÁLVULAS HIDRÁULICAS DIRECIONAIS DE CARRETEL DESLIZANTE**

**Ana Paula Spanholi e Davi Fusão**

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus Ponta Grossa - Bairro Baraúna – CEP 84016-210–Ponta Grossa–Paraná  
E-mail para correspondência: paulaspanholi@hotmail.com

### **Introdução**

A cavitação é um fenômeno frequentemente encontrado em sistemas hidráulicos, de maneira geral, pode ser definido como a vaporização local do fluido, formando assim bolhas de vapor. O nome cavitação se associa ao fenômeno por que as bolhas caracterizam cavidades dentro da massa líquida. Essas cavidades são formadas devido à redução localizada de pressão, então conduzidas posteriormente até uma região com pressão superior causam o colapso. (LINSINGEN, 2001)

O objeto de estudo em questão são as válvulas, as quais, devido sua geometria e modo de operação podem ser largamente atacadas, sendo escolhida a válvula de controle direcional de carretel deslizante devido ser bastante empregada em sistemas hidráulicos industriais. O Teorema de Bernoulli identifica as diferenças de pressão de um escoamento. Um fluido escoando, ao ser acelerado, tem uma redução da pressão, para que sua energia mecânica se mantenha constante. Essa queda de pressão traz as implicações da cavitação. (MCDONALD & FOX, 2006) O estudo da perda de carga, a qual consiste segundo Boyer e Ferschneider (2007) em energia perdida por unidade de peso do fluido em escoamento, também ajuda a analisar a cavitação.

É extremamente necessário evitar a cavitação, pois ela causa erosão associada na estrutura. As bolhas de vapor originadas quando em colapso implodem, ocasionando o estrago, sendo quanto mais próximo à superfície sólida, maior será o efeito das ondas de choque geradas pelas implosões. O efeito dessas implosões começa com trincas microscópicas na estrutura, que com o tempo aumentam e causa deslocamento de material da superfície, ocasionando a cavidade de erosão localizada. (BRAN E SOUZA, 1969)

Os efeitos e a ocorrência da cavitação dependem de muitas variáveis físicas, a previsão da sua ocorrência de forma específica não é sempre possível. No entanto a ocorrência da cavitação tem sempre um efeito negativo. (FILHO, GENOVEZ e LUVIZOTTO Jr. 2006)

Na prática a identificação da cavitação é feita por ensaios mecânicos que consideram alguns espectros do fenômeno, segundo Oliveira (2011), os mais frequentes são o espectro de vibração, de velocidade, de aceleração e o sensitivo. No espectro de velocidade se faz uma análise dos resultados obtidos em medições, já que é muito relevante a relação da velocidade do fluido com os danos causados pela cavitação. Pelo aspecto sensitivo, identifica-se a cavitação através de ruídos durante o funcionamento do equipamento, que causam a impressão de estarem bombeando corpos sólidos e não fluidos, popularmente se fala que há pedra ao invés de fluido.

Este artigo apresenta resultados parciais de experimentos desenvolvidos para a elaboração de um Trabalho de Conclusão de Curso, que será apresentado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, onde o objetivo é observar os efeitos da cavitação em uma válvula hidráulica direcional de carretel deslizante.

### **Objetivo do Trabalho**

Analisar a ocorrência da cavitação em um dispositivo similar á uma válvula hidráulica direcional de carretel deslizante, bem como fundamentar o meio envolvido.

### **Caracterização do Meio**

Para analisar a cavitação é preciso descrever todo o meio que esse fenômeno envolve, sendo para esse trabalho importante caracterizar ás válvulas, a perda de carga e a cavitação especificamente.

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

### **Válvulas**

O sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados, e juntamente com um fluido como meio de transferência de energia, possibilita a transmissão e controle de forças e movimentos (LINSINGEN, 2001). As válvulas, objeto do estudo, são componentes imprescindíveis de um sistema hidráulico.

O controle de energia em sistemas hidráulicos é realizado, em princípio, atuando-se sobre o valor da potência hidráulica, por componentes físicos que alteram os valores de vazão e/ou pressão. Considerando dois princípios de ação: quando a ação de limitação ou controle está associada à dissipação de energia, chamado controle resistivo, e quando a ação de limitação ou controle é realizada com pequena dissipação de energia, chamado controle conservativo (LINSINGEN, 2001).

As válvulas de controle direcional têm como principal responsabilidade dirigir o fluxo do fluido às várias partes do sistema, assim o fluido pode realizar seu trabalho no processo (STEWART, 1980).

### **Perda de carga**

Em qualquer sistema da indústria o objetivo é que a eficiência seja a máxima possível, para que o investimento em questão seja da melhor forma aproveitado. Considerando também o setor energético, as fontes de energia esgotáveis, o processo que conseguir ter o melhor aproveitamento está à frente dos outros, mais competitivo e lucrativo. A perda de carga, como o nome já pode supor, caracteriza uma perda de energia, e em relação ao fenômeno da cavitação, a perda de carga propicia uma diferença de pressão no escoamento, sendo isso uma das características do início da cavitação. Porém a perda de carga também pode ser usada a favor do sistema, quando se necessitar de controle de pressão, por exemplo, se provocada uma perda de carga, que será útil ao sistema.

A definição de perda de carga é, por Boyer e Ferschneider (2007), a energia perdida por unidade de peso do fluido em escoamento. Ainda no conceito de Boyer e Ferschneider (2007) a perda de carga em um tubo, canal ou válvula, é a perda de energia dinâmica do fluido devido à fricção das partículas do fluido entre si e contra as paredes da tubulação que os contenha. Podendo ser contínuas, ao longo dos dutos regulares, acidental ou localizada, devido a circunstâncias particulares, como um estreitamento ou, uma alteração de direção.

Detalhando a perda de carga, McDonald & Fox (2006) apresentam um escoamento interno recebendo influência das paredes, que dissipam energia devido ao atrito. As partículas do fluido em contato com a parede tendem a velocidade nula, assim como a parede, e através da viscosidade e turbulência passam a influenciar as partículas do fluxo, aumentando a dissipação de energia. Continuando, McDonald & Fox (2006) explicam que a dissipação de energia proporciona também a queda de pressão do fluido ao longo do escoamento, caracterizando a perda de carga. Contudo essa situação é propiciadora da cavitação, já que num próximo momento essa pressão mais baixa vai entrar em contato com fluido em outra pressão, gerando o fenômeno da cavitação.

A perda de carga pode ser analisada genericamente pelo Teorema de Bernoulli, principalmente quando considerada para fluidos não viscosos, onde é considerado que não há atrito, nem resistência ao escoamento. (MCDONALD & FOX, 2006)

Pela equação de Bernoulli, temos uma definição analítica da perda de carga, usada para análise de fluidos não viscosos, admitindo que não haja fator de atrito pelo escoamento. Isso caracterizaria um fluido ideal, porém é sabido que não existe um fluido dessa forma, mas em alguns casos é razoável considerar o fluido como não viscoso. (LINSINGEN, 2001)

No entanto este trabalho vai considerar o fluido de operação como viscoso, porém as definições matemáticas não serão aqui apresentadas.

### **Cavitação**

A cavitação é, dentre as possíveis causas de degradação em sistemas hidráulicos, a mais destrutiva. Em muitas situações o dano é tão grande que reduz a vida útil do sistema podendo obrigar a largos períodos de interrupção de funcionamento (FILHO, GENOVEZ e LUVIZOTTO Jr. 2006). Considerando as tantas implicações, é imprescindível que seja dada enorme importância ao fenômeno da cavitação nas atividades industriais, analisando o que realmente é, e como identificar, sua intensidade.

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

A cavitação é o fenômeno da formação de bolhas de vapor em um fluido, que percorre um local onde a pressão do fluido fica menor que sua pressão de vapor. Essas bolhas formadas, quando condensadas produzem ruído e vibração estrutural, e também criam tensões localizadas nas paredes do curso, podendo gerar uma severa erosão cavital. (MASJEDIAN & RAHIMZADEH, 2009)

Na definição de Bran e Souza (1969), a degradação causada pela cavitação nas paredes do curso, é denominada como erosão cavital. Complementando, Pukaszewicz (2008) caracteriza a erosão cavital quando num fluxo líquido, formam-se bolhas de vapor que colidem contra a superfície metálica, liberando energia e promovendo a perda de massa da superfície do componente.

### **Metodologia Empregada**

A análise do efeito da cavitação foi toda experimental, partindo da reprodução de uma situação industrial real. Para essa verificação foi construído um dispositivo que caracteriza uma válvula direcional de carretel deslizante. A válvula foi montada em um sistema hidráulico industrial e quando em funcionamento foram registradas a temperatura e a pressão em intervalos de tempo. Em intervalos definidos foi feita a medição de perda de massa do componente do dispositivo adotado como alvo para a ocorrência de erosão cavital.

### **Descrição do Dispositivo**

O dispositivo foi projetado para que fosse possível analisar o efeito da cavitação, assim exposto a condições reais de funcionamento, e atendendo a uma geometria similar de uma válvula direcional de carretel deslizante, e também fabricado em materiais comumente usados na indústria.

Para facilitar a observação dos efeitos da cavitação o corpo da válvula foi projetado/construído com um inserto, o qual no decorrer do experimento pode ser retirado para pesagem e permitir uma observação mais minuciosa. O inserto foi posicionado contíguo à região de maior estrangulamento entre o carretel deslizante e o corpo da válvula. O corpo da válvula foi construído de Ferro Fundido Cinzento, sendo o carretel deslizante, fabricado de Aço ABNT 1045, e o inserto, o qual foi fabricado com dois materiais diferentes (duas unidades), sendo um de Ferro Fundido Cinzento e o outro de Aço ABNT 1045, para comparação.

O dispositivo foi adaptado à central hidráulica de uma prensa hidráulica, operando em condições reais, na qual durante o experimento atingiu uma pressão máxima de 110 bar e uma pressão mínima de 70 bar, atuando na maior parte do tempo em 105 bar. E a temperatura atingida nessas condições de operação foi de no máximo 66 °C, partindo da temperatura ambiente. Sendo a temperatura medida no reservatório, e não diretamente na válvula. As fig. 1 e 2 apresentam o dispositivo e sua montagem de funcionamento, sendo a fig. 1, uma parte que compõe o corpo da válvula com o inserto sendo introduzido e no seguinte momento com o carretel deslizante já colocado, e a fig. 2 mostra o dispositivo montado na central hidráulica.



Figura 1 – Parte do corpo da válvula com inserto e carretel

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
 Artigo CREEM2012

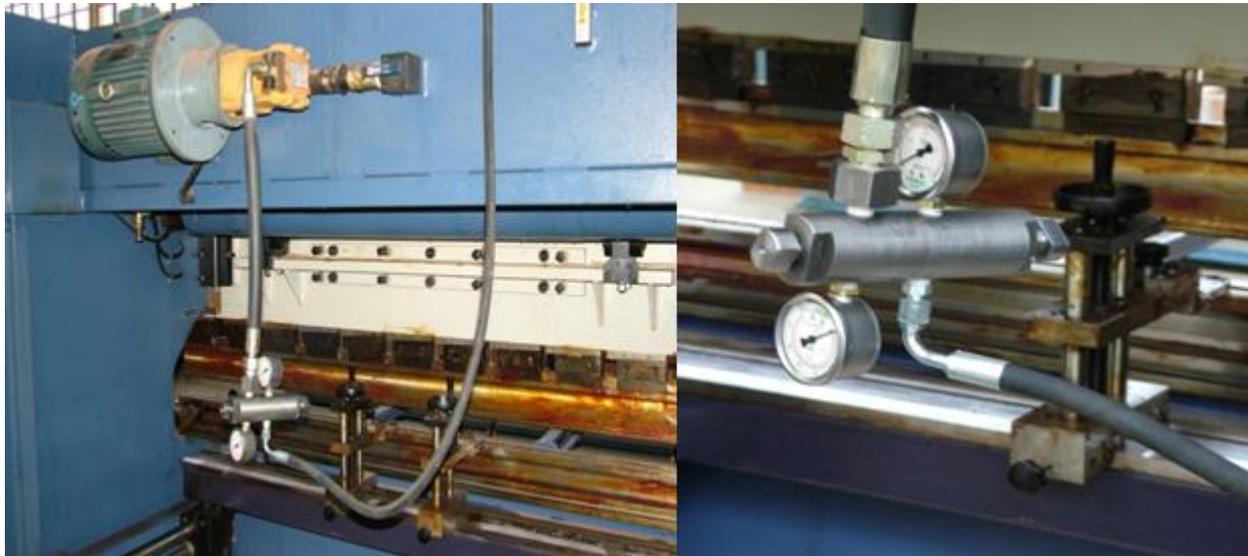


Figura 2 – Dispositivo montado

A válvula foi posta em funcionamento por 60 horas, sendo que o inserto foi pesado três vezes, depois da pesagem inicial, no intervalo de 6 horas, 9 horas (completando 15 horas) e 45 horas (completando 60 horas). Repetindo essa seqüência nos dois insertos de materiais diferentes. Estando nessas 60 horas incluído o tempo que a máquina levava para entrar em regime.

Analisando em parâmetros de temperatura e pressão diferentes, a vazão da bomba não teve alterações relevantes, podendo então considerar para essa situação uma vazão média de 19,78 l/min.

#### **Caracterização dos Materiais**

A escolha dos materiais foi determinada pela grande aplicabilidade de ambos, sendo o Ferro Fundido Cinzento e o Aço ABNT 1045 largamente empregados na indústria brasileira.

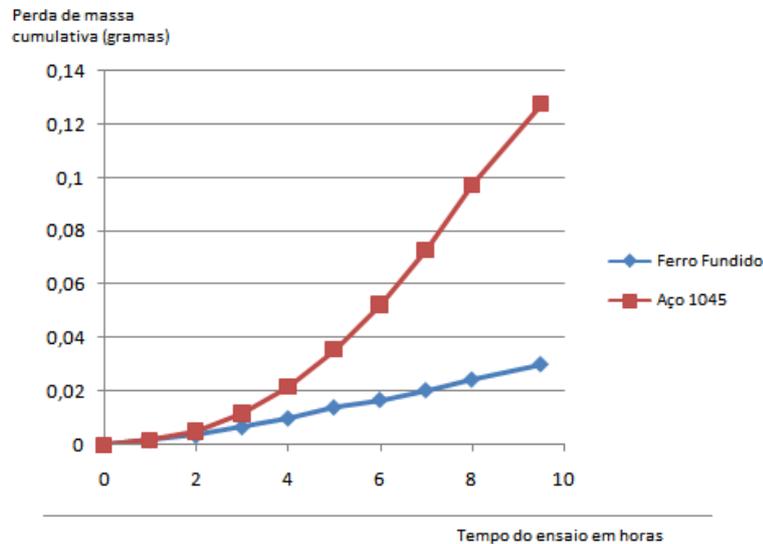
Para a caracterização desses materiais foi realizado o Ensaio de Dureza Rockwell B, fazendo em uma amostra circular, uma medida central e em 4 pontos em um diâmetro de 12 mm. Os resultados obtido nesse ensaio são apresentados na tab. 1.

Tabela 1 – Resultados do Ensaio de Dureza Rockwell B

<b>Ferro Fundido Cinzento</b>		<b>Aço ABNT 1045</b>	
Pontos	Dureza HRB	Pontos	Dureza HRB
Central	88	Central	85
1	92	1	89
2	92	2	90
3	89	3	92
4	92	4	93

Para complementar a caracterização dos materiais dos insertos, foi realizado o Ensaio de Erosão Cavital por Sonotrodo, pela Norma ASTM G32-92. Desse ensaio obteve-se os resultados apresentados no gráfico abaixo.

**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
 Artigo CREEM2012



### Caracterização do Fluido

O fluido utilizado no funcionamento da válvula foi o óleo mineral comercialmente chamado de NUTO H 68, o qual tem as seguintes características identificadas:

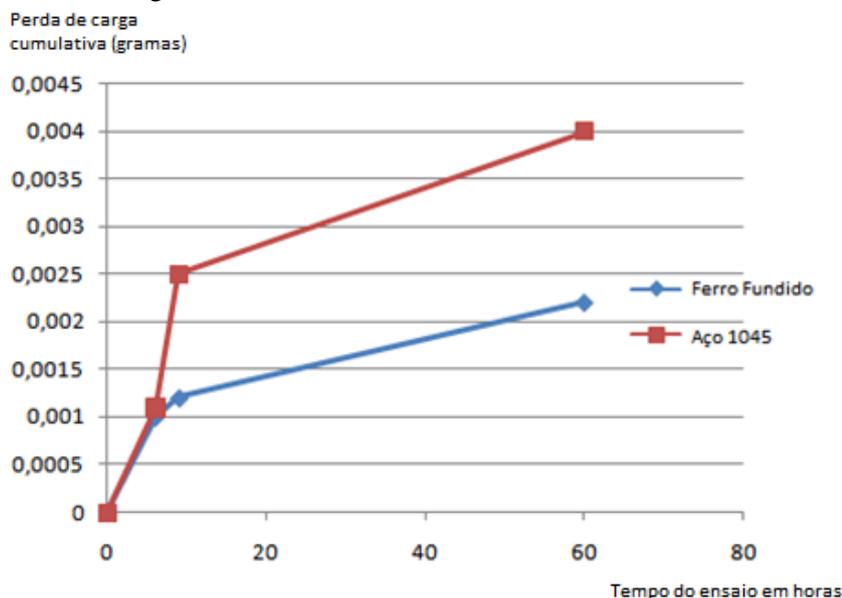
- Densidade em temperatura ambiente (21°C): 0,877 g/cm<sup>3</sup>.
- Viscosidade cinemática, em três diferentes temperaturas de operação, sendo apresentadas na tab. 2.

Tabela 2 – Viscosidade Cinemática do Fluido

Temperatura no reservatório (°C)	Viscosidade cinemática (cSt)
21	159,76
37	47,79
55	32,96

### Resultados

Dos experimentos realizados com os dois insertos obtivemos as seguintes curvas de perda de massa cumulativa, apresentadas no gráfico a baixo.



**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
 Artigo CREEM2012

A fig. 3 mostra a imagem dos dois insertos depois das 60 horas de funcionamento, e do carretel deslizante que compunha a válvula, o qual ficou 120 horas de operação.



Figura 3 – Primeira imagem: inserto de Ferro Fundido Cinzento; Segunda imagem: inserto de Aço ABNT 1045; Terceira imagem: carretel deslizante

### Considerações Finais

A análise dos resultados permite afirmar que houve perda de massa, mesmo que pequena. Visualmente algumas nuances são perceptíveis, no entanto devido sua pouca intensidade essas nuances não aparecem bem definidas no registro fotográfico.

Sobre a perda de massa do experimento comparada a perda de massa no Ensaio de Erosão Cavital, não foi obtido o mesmo comportamento da curva, o que pode ser atribuído a regimes de trabalho diferentes. No entanto foi identificada a mesma tendência de perda de massa dos materiais, quando o Aço 1045 teve uma perda maior que o Ferro Fundido Cinzento nas duas situações.

Este estudo pode ser complementado com a realização de novos ensaios sob pressões mais elevadas, e com a medição da temperatura do fluido no dispositivo. Também pode ser empregado um estrangulamento adicional no duto de retorno para a obtenção de uma maior recuperação da pressão no dispositivo. Ensaios de duração mais prolongada e com maior número de corpos de prova também permitirão resultados mais conclusivos. Pode ser feito também um dispositivo em material transparente para permitir a visualização e/ou registro fotográfico do fenômeno de cavitação.

### Referências Bibliográficas

- BOYER, C.; VOLPI, C.; FERSCHNEIDER, G. **Hydrodynamics of trickle bed reactors at high pressure: Two-phase flow model for pressure drop and liquid holdup, formulation and experimental validation**. Chemical Engineering Science, Lyon, set. 2007
- BRAN, Richard; SOUZA, Zulcy de. **Máquinas de fluxo : turbinas, bombas, ventiladores**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1969.
- FILHO José G.; GENOVEZ Ana I.; LUVIZOTTO Edevar Jr. **EQUIPAMENTO PARA SIMULAÇÃO DA EROÇÃO POR CAVITAÇÃO**. Campinas-sp: Fec-UNICAMP, v. 11, n. 1, 1 jan. 2006. Bimestral. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=451&t=Equipamento+para+Simula %E7%E 3 o+da+Eros%3o+por+Cavita%E7%E3o](http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=451&t=Equipamento+para+Simula+%E3%o+da+Eros%3o+por+Cavita%E7%E3o)>. Acesso em: 12 set. 2011.
- JAZI, A. Masjedian; RAHIMZADEH, H. **Detecting cavitation in globe valves by two methods: Characteristic diagrams and acoustic analysis**. Applied Acoustics, Tehran, 24 maio 2009
- LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. Florianópolis: UFSC, 2001.
- MCDONALD, Alan T. & FOX Robert W.,. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2006. 816p.
- OLIVEIRA, Rosaldo João de. **Cavitação: como entender esse fenômeno?** MGS - Tecnologia. Disponível em: <<http://www.mgstecnologia.com.br/noticias/admin/arquivos/Cavitacao.pdf>> . Acesso em: 12 set. 2011
- PUKASIEWICZ, Anderson Geraldo Marenha. **Desenvolvimento de revestimentos Fe-Mn-Cr-Si-Ni resistentes à cavitação depositadas por aspersão ASP**. 2008. 192 f. Tese de doutorado - UFPR, Curitiba, 2008.
- STEWART, Harry L.. **Pneumática e hidráulica**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1980.