



## **DIMENSIONAMENTO DA HASTE DE UM CILINDRO UTILIZADO EM UMA PRENSA ATRAVÉS DOS CONCEITOS DE FLAMBAGEM E PONTO CRÍTICO**

### **DIMENSIONING THE STEM OF A CYLINDER USED IN A PRESS THROUGH THE CONCEPT OF FLAMBAGEM AND CRITICAL POINT**

*Klauber Braga Castelli<sup>1</sup>*

*Rangel Ferreira do Nascimento<sup>2</sup>*

**RESUMO:** Por meio dos conceitos de flambagem e ponto crítico, busca-se o valor do diâmetro mínimo para comprovar se a haste que compõe o sistema hidráulico de uma prensa de compactação de embalagens descartáveis, resistirá as solicitações para a perfeita execução de trabalho. As informações obtidas visualmente e as com auxílio de equipamentos de medição, foram utilizadas juntamente com as ferramentas numéricas obtidas na literatura científica e empregadas para efetuar o dimensionamento do diâmetro mínimo. Concluiu-se que a informação obtida com este estudo proporciona a certeza que a haste empregada, suporta as solicitações de trabalho.

**Palavras-chave:** Flambagem; Diâmetro mínimo; Embalagens descartáveis

**ABSTRACT:** By means of the concepts of buckling and critical point, the value of the minimum diameter is sought to verify if the rod that composes the hydraulic system of a packaging press of disposable containers, will resist the requests for the perfect execution of work. The information obtained visually and with the aid of measuring equipment were used together with the numerical tools obtained in the scientific

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Mecânica, UNITOLEDO, 2015.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2009.

literature and used to carry out the dimensioning of the minimum diameter. It was concluded that the information obtained with this study provides the certainty that the rod used, supports the work requests.

**Keywords:** Buckling; Minimum diameter; Disposable packaging

## 1. Introdução

Em meio à Segunda Guerra Mundial, parte do mundo estava em completa destruição. Os países envolvidos encontravam-se em ruínas com suas indústrias paralisadas, toda sua malha rodoviária e ferroviária totalmente prejudicada, assim como cidades, fazendas, portos e aeroportos e, principalmente, toda sua população diminuída ou envolvida no conflito (ECOLOGIAECONCIÊNCIA,2015)

Conseqüentemente, as indústrias não fabricavam, a agricultura não produzia, as estradas e portos não operavam e a população não trabalhava. Iniciou-se então, um ciclo vicioso de escassez de matéria-prima em todo o mundo. Porém, as poucas empresas em operação que restavam voltavam-se para a produção bélica afim de suprir as necessidades da Segunda Guerra (MUNDOEDUCAÇÃO,2015).

Nesse período, iniciou-se uma cultura em todo mundo pela busca de fontes alternativas para matérias-primas básicas, que eram encontradas em utensílios domésticos antigos. Essas peças forneciam metais, como: aço, alumínio, bronze nos destroços retorcidos de automóveis e estruturas metálicas, que eram reaproveitados pelos fabricantes de material bélico (ECOLOGIAECONCIÊNCIA,2015).

Com o final da guerra, os países capitalistas voltaram-se a reestruturação de suas infraestruturas. Iniciou-se a necessidade de produzir em alta escala para atender a alta demanda por produtos industrializados. Conseqüentemente, embalagens descartáveis facilitariam essa distribuição até os consumidores finais, foi quando surgiram esses produtos. As embalagens descartáveis, dariam condições de produção em alta escala, pois proporcionam: uniformidade e uma rápida logística de classificação desses produtos (ECYCLE,2015). Essa tendência também se refletiria no Brasil, onde empresas de fabricação de embalagens descartáveis foram fundadas. Uma das pioneiras nesse segmento, a Penha, inaugurada em 1948, no interior de São Paulo na cidade de Itapira, produzia 40 toneladas de papelão ondulado e contava com 35 funcionários.

(PENHA, 2015). Em 1952, na capital paulista, a Klabin também começou a produzir papelão ondulado, na Companhia Fabricadora de Papel (KLABIN, 2015).

Em outro segmento de embalagens, a Metalúrgica Matarazzo, em meados 1971, foi a primeira empresa brasileira a produzir latas de aço para embalar cervejas (ALMANAQUE, 2015). Em 1980, a Coca-Cola, apresentou ao mercado a embalagem de garrafa Pet que se tornou popular em todo o mundo, por ser um recipiente leve, reciclado e inquebrável (PORTAL DO MARKETING NET, 2015). Porém, em contraproposta de alta produção e uma eficiente logística de transporte às embalagens descartáveis geram outro problema, o acúmulo de grandes volumes de resíduos.

O principal desafio na época foi dar uma correta utilização a esses resíduos, daí então a necessidade de elaborar ferramentas e equipamentos que viabilizariam o processo de reutilização de embalagens como, moinhos, elevadores, extrusoras, balanças, esteiras, caçambas e principalmente as prensas. Consequentemente com essas ferramentas pôde-se sustentar um mercado para esses novos produtos. Foi então que surgiu as prensas para compactação.

Atualmente querendo otimizar seu processo de trabalho e produção uma empresa de pequeno porte, suprindo-se de chapas, vigas e perfis efetivou a construção de uma prensa hidráulica horizontal com aço reciclado.

Este aço foi oriundo do estoque que a empresa já possuía e também adquirido de outras empresas recicladoras de embalagens descartáveis.

Entretanto para que o aço seja reutilizado é necessário passar por alguns processos de fabricação como o corte, lixamento, desoxidação, dobramento e calandragem. Esta última é considerada a etapa mais essencial do processo, pois consiste em passar chapas, perfis, canos ou vigas em cilindros giratórios de modo a desfazer algumas tensões de desalinhamento fazendo com que a sua superfície se torne lisa novamente e sem ondulações ou desvios (HELMAN e CETLIN, 2005).



(a)

(a)

A Figura 1: Prensa construída depois de utilizados os processos de fabricação

Fonte: Próprio autor (2016).

Buscando informações para manutenções posteriores e adequações com a legislação brasileira e normas técnicas de segurança do trabalho.

A empresa possuidora da prensa inicia as análises e estudos a partir do conjunto haste e cilindro, através dos conceitos de flambagem para mapiar suas características.



(a)

(b).

Figura 2: Cilindro (a) Haste (b)

Fonte: Próprio autor (2016).

A Figura 2 demonstra o conjunto haste e cilindro. Flambagem é o momento que a haste sofre uma força axial e começa a perder a sua estabilidade estrutural, partindo sempre na direção do eixo de menor momento de inércia da sua secção transversal sem alcançar seu limite de escoamento (MELCONIAN, 2014). Quando elementos esbeltos ou compridos submetidos a uma força axial de compressão começa a sofrer deflexão lateral em sua estrutura é denominado de flambagem (HIBBELER, 2014). Flambagem é

a deflexão lateral que ocorre em elementos compridos (BOTELHO, 2013). Quando peças esbeltas e compridas são submetidas a um carregamento de compressão axial fazendo com que a peça perca sua estabilidade lateral sem atingir a tensão de escoamento (BRAÇAL e JUNIOR, 2012).

## 2. Objetivos

Com as informações obtidas visualmente e as com auxílio de equipamentos de medição, utilizadas juntamente com os conceitos de Ponto Crítico e Flambagem busca-se efetuar o dimensionamento do diâmetro mínimo necessário para que a haste não flambe e que os cálculos efetuados de dimensionamento comprovem essa escolha de forma numérica.

## 3. Desenvolvimento e Métodos

Nesta parte do estudo busca-se o dimensionamento do diâmetro mínimo da haste, através das informações disponíveis.

### 3.1 Força axial da haste ( $F_{axi}$ )

A Figura 3a demonstra o momento máximo de 98 bar de pressão ( $P$ ) que o sistema fornece para impulsionar a haste. A Figura 3b, é a medição do diâmetro externo do cilindro ( $D_{ce}$ ), sendo 142 mm.



(a).



(b).

Figura 3: Medições; Pressão máxima impulsionadora na haste (a) Parte externa do cilindro (b)

Fonte: Próprio autor (2016).

Porém o que é necessário para os cálculos é sua medida interna do cilindro. Essa medida interna será obtida com a subtração das espessuras (*esp*) das paredes do cilindro com o diâmetro externo. A espessura (*esp*), de 3mm da parede do cilindro foi estimada por profissionais do segmento hidráulico, sendo assim o diâmetro interno ( $D_{ci}$ ) é obtido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} D_{ci} &= D_{ce} - 2 \times esp \\ D_{ci} &= 1,42 \times 10^{-1} - 2 \times 3 \times 10^{-3} \\ D_{ci} &= 1,36 \times 10^{-1}m \end{aligned}$$

Transformando 98 bar para S.I. consegue-se 9.800.000 (*Pa*). Através dos conceitos de pressão (*P*), a força axial da haste ( $F_{axi}$ ) é:

$$\begin{aligned} 9.800.000Pa &= \frac{F_{axi}}{\frac{\pi \times (1,36 \times 10^{-1})^2}{4}} \\ F_{axi} &= 142362 N \end{aligned}$$

### 3.2 Coeficiente de segurança (*Cs*)

O coeficiente de segurança utilizado para o dimensionamento do diâmetro mínimo será levantado, através das quantificação de valores representados e calculados expostas por (MELCONIAN, 2014). A Tabela 1, organiza essas quantificações da seguinte forma: Sua quantificação em relação ao tipo de aço empregado na construção da haste, que nesse caso será atribuído como de aços de qualidade e ligas que corresponde ao valor atribuído para *X* sendo de 1,5. Porém o tipo de solicitação é a alternada sendo a melhor opção que se encaixa com as circunstâncias em relação a haste pois sofre solicitação somente quando é feita a compressão de embalagem descartável, porém no momento de recuo e no intervalo de avanço, não há compactação, não há solicitação, por isso o valor correspondente de *Y* é igual a 3. Atribui-se valor para *Z* para a relação do tipo de carga, podendo ser considerada como carga gradual, atribuindo o valor igual a 1, visto que, a haste vai se movimentando e compactando

gradualmente as embalagens descartáveis, não é colocada uma carga bruscamente. Encontrado valores para  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  falta o de  $W$  que correspondem a defeitos de fabricação do aço e neste caso foi atribuído o valor correspondente a 1,5 pois a haste não pode ser considerada como um ferro fundido .

Tabela 1 – Resultado resumido das quantificações de:  $X, Y, Z$  e  $W$

Variáveis	Condições	Valores
$X$	Aços de ligas	1,5
$Y$	Alternada	3
$Z$	Gradual	1
$W$	Para aços	1,5

Fonte: Próprio autor (2016)

Utilizando conceitos de (MELCONIAN, 2014) o coeficiente de segurança ( $CS$ ) é obtido da seguinte forma:

$$CS = X \times Y \times Z \times W$$

$$CS = 1,5 \times 3 \times 1 \times 1,5$$

$$CS = 6,75$$

### 3.3 Ponto Crítico ( $P_{crit}$ )

Utilizando as informações disponíveis e considerando o sistema como um conjunto ideal, ou seja, não computando as perdas de cargas obteve-se:

$$P_{crit} = F_{axi} \times CS$$

$$P_{crit} = 142362 \times 6,75$$

$$P_{crit} = 960944 N$$

### 3.4 Escolha da condição de flambagem ( $lf$ )

Conforme a fixação nas extremidades, a haste apresenta quatro situações de flambagem, que são demonstradas na Figura 4.

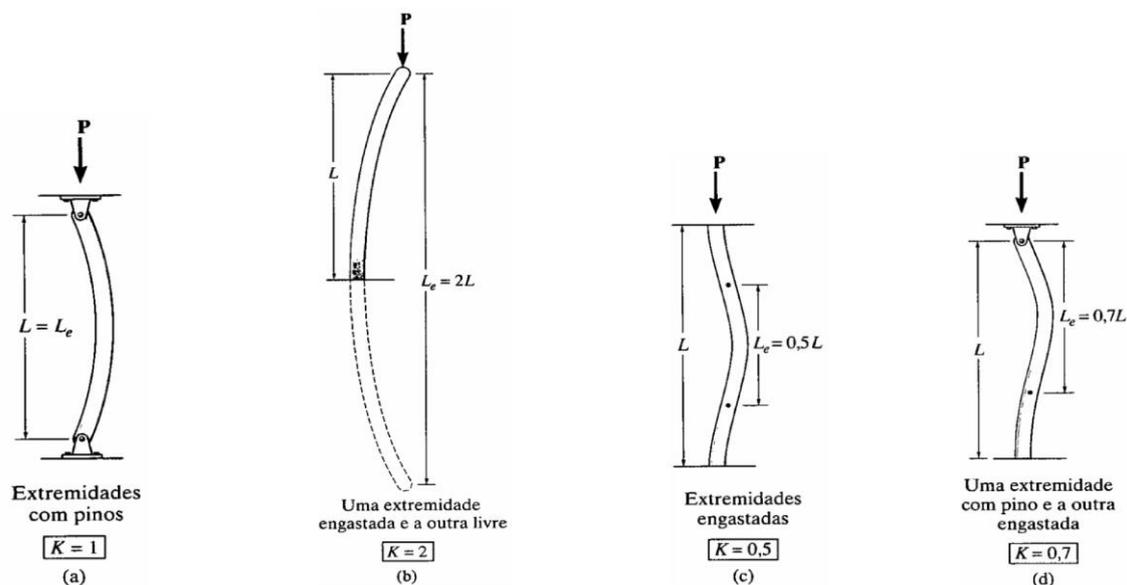


Figura 4: Tipos de engaste nas extremidades

Fonte: Adaptado de Hibbeler (2014).

A constante  $K$  demonstrada na Figura 4 considera o comprimento que o elemento tende a flambar.

Na situação (a), o comprimento total do elemento sofrerá com a flambagem por isso a constante vale (1) porém, a situação (b) é (2) vezes o comprimento do elemento.

A situação (c) demonstra que a metade do comprimento tende a flambar por isso a constante vale (0,5) e pôr fim a situação (d) que é (0,7) pois o comprimento que tende a flambar é um pouco maior que a situação anterior.

O modo de como a haste é engastada tem muita importância em relação à flambagem, pois com a aplicação da força axial de compressão, a peça tende a escoar na direção que se encontra sem apoio.

O tipo (a), tem o momento de curvatura logo após a fixação dos pinos pois são móveis nas duas extremidades fazendo com que seja transferida para barra toda a força axial; já o tipo (b) sendo o mais grave dos tipos, pois em uma de suas extremidades não há fixação, fazendo com que a barra sofra diretamente com a força axial deformando-a inteiramente logo após a sua extremidade engastada; porém o tipo (c) tem suas extremidades fixadas rigidamente, fazendo com que a barra venha sofrer uma deformação em um determinado intervalo logo após a sua fixação, pois a força axial é absorvida parcialmente nos engastes.

E por fim o tipo (d) que tem em uma extremidade fixa com pinos e na outra extremidade engastada rigidamente, possuindo características do tipo (a) e (c).

A condição de flambagem da haste é considerada como articulada e engastada tipo (d) pois no pé do cilindro ela está totalmente imóvel fixada com parafusos como mostra a Figura 2a nesse ponto não há nenhum tipo de movimento pois os parafusos fixados garantem essa imobilidade.

Na outra extremidade da haste a qual se encontra a tampa de compactação, conforme a Figura 2b, mesmo com os trilhos de guia, existe uma determinada folga de aproximadamente **10 mm**.

Podendo ser considerado como não engastado ou presa por pinos, pois ocorre um determinado movimento mesmo que mínimo no sentido vertical.

A condição de flambagem ( $l_f$ ) é obtida da seguinte forma:

$$l_f = 0,7 \times L$$

$$l_f = 0,7 \times 2m$$

$$l_f = 1,4m$$

### 3.5 Dimensionamento do diâmetro mínimo ( $D_m$ )

Depois de ter obtido as variáveis envolvidas para o dimensionamento da haste faltando somente o módulo de elasticidade do aço que nesse caso optou-se por usar o fornecido por (HIBBELER, 2014) que é **200GPa**.

Sendo assim busca-se sob as condições de uso o diâmetro mínimo de construção para a haste através da seguinte forma:

$$D_m = \sqrt[4]{\frac{64 \times P_{cri} \times l_f^2}{\pi^3 \times E}}$$

$$D_m = 6,639 \times 10^{-2}m$$

$$D_m \cong 66mm$$

## 4. Resultados e Discussões

Depois de levantado a informação de diâmetro mínimo ( $D_m$ ), pode ser feita uma análise com o diâmetro em uso. Figura 5.



Figura 5: Medição do diâmetro da haste

Fonte: Próprio autor (2016).

Quando comparado o diâmetro da haste descrito na Figura 5, ou seja, sendo o que está em operação com **90mm**, em relação ao diâmetro mínimo **66mm** encontrado através dos conceitos de ponto crítico, fica claro que a haste em operação tem aproximadamente **24mm** a mais que o necessário, comprovando que resistirá as condições de trabalho sem flambar.

É essencial destacar, a importância da forma de engaste nas extremidades. Variando as condições de flambagem na obtenção de valores meramente comparativos no auxílio de compreensão foi exemplificado na Tabela 2, sua importância variando com as condições de flambagem ( $lf$ ).

Tabela 2 - Medidas comparativa

Condição de flambagem	L (m)	Diâmetro (mm)
2L	2	<b>111mm</b>
L	2	<b>79mm</b>
0,7L	2	<b>66mm</b>
0,5L	2	<b>56mm</b>

Fonte: Próprio autor (2016)

A Tabela 2 evidências que, quanto menor for a fixação, maior será o diâmetro. Esta comparação de diâmetro e fixação é muito útil, pois, em uma possível manutenção ou mudança futura da estrutura da máquina, deve ser considerada a condição de flambagem no custo benefício, já que, se não for empregado recursos com a fixação das extremidades, terá que ser empregado recursos em um diâmetro maior da haste,

conforme comprovado com a Tabela 2.O exemplo de falta de fixação em uma das extremidade nas condições de flambagem 2L exigiria uma haste com **111mm**, ou seja **21mm** a mais que é a haste em uso sendo **90mm** consequentemente não iria suportar os carregamentos operacionais e flambaria.

## 5. Conclusões

Concluiu-se que, a informação obtida com este estudo de dimensionamento de diâmetro mínimo proporciona para empresa a certeza de que, a haste empregada na construção da prensa de embalagens descartáveis suporta com tranquilidade as necessidades de trabalho.

## 6. Referências

ALMANAQUE. **Almanaque.blog.br**, 2015. Disponível em: <<http://almanaque.blog.br/2014/09/o-imperio-das-latas/>>. Acesso em: 25 Outubro 2015.

BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos materiais para entender e gostar**. 2°. ed. São Paulo: Blucher, v. 1, 2013.

BRAÇAL, P.; JUNIOR, Construmetal 2012. **Determinação da Força Crítica de Flambagem de Tubos Cilíndricos de Paredes Finas**, UNESP, Ilha Solteira, Determinação da Força Crítica de Flambagem de Tubos Cilíndricos de Paredes Finas 2012.

ECOLOGIAECONSCIENCIA. **ecologiaeconsciencia.blogspot.com.br**, 2015. Disponível em: <<http://ecologiaeconsciencia.blogspot.com.br/2009/06/origem-e-historia-da-reciclagem-no.html>>. Acesso em: 18 Dezembro 2015.

ECYCLE. **www.ecycle.com.br**, 2015. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/44-guia-da-reciclagem/2046-reciclagem-o-que-e-como-surgiu-reaproveitamento-upcycle-origem-como-reciclar-coleta-seletiva-onde-reciclar.html>>. Acesso em: 18 Dezembro 2015.

HELMAN, CETLIN, R. **Fundamentos da conformação**. São Paulo: Artliber, 2005.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7°. ed. São paulo: Pearsom, 2014.

KLABIN. **www.klabin.com.br**, 2015. Disponível em: <<https://www.klabin.com.br/pt/a-klabin/memoria-klabin/linha-do-tempo/>>. Acesso em: 25 Outubro 2015.

PENHA. **www.penha.com.br**, 2015. Disponível em: <<http://www.penha.com.br/6/nossa-historia.html>>. Acesso em: 25 Outubro 2015.

MELCONIAN, S. **Mecânica Técnica E Resistência Dos Materiais**. 19°. ed. São Paulo: Érica, 2014.

MUNDOEDUCAÇÃO. **mundoeeducacao.bol.uol.com.br**, 2015. Disponível em: <<http://mundoeeducacao.bol.uol.com.br/geografia/reciclagem.htm>>. Acesso em: 18 Dezembro 2015.

PENHA. **www.penha.com.br**, 2015. Disponível em: <<http://www.penha.com.br/6/nossa-historia.html>>. Acesso em: 25 Outubro 2015.

PORTALDOMARKETING. **www.portaldomarketing.net.br**, 05 Novembro 2015. Disponível em: <<http://www.portaldomarketing.net.br/a-historia-das-garrafas-da-coca-cola-a-evolucao-do-design/>>. Acesso em: 25 Outubro 2015.