

# IMPRESSORA BRAILLE – ESTUDO DA VIABILIDADE FÍSICA UTILIZANDO AR COMPRIMIDO PARA IMPRESSÃO BRAILLE

Fábio Junji Kaihama

e-mail: binhofjk@uol.com.br

O sistema de leitura e escrita universalmente utilizado por pessoas cegas é o Braille, e foi inventado na França por Louis Braille, um jovem cego, em 1825. Em 1878, um congresso internacional realizado em Paris, com a participação de onze países europeus e dos Estados Unidos, estabeleceu que o Sistema Braille deveria ser adotado de forma padronizada, para uso na literatura. Atualmente as impressoras Braille utilizam pinos movidos pela ação de solenóides, que se chocam contra o papel formando os pontos em alto relevo. Porém a manutenção destas impressoras é de alto custo. Neste trabalho será investigada a viabilidade de utilização de um método alternativo para impressão Braille utilizando ar comprimido respeitando a norma NBR 9050. A pressão necessária para se obter a impressão foi calculada utilizando dados empíricos sobre as propriedades do papel, conceitos de elementos finitos. Foram realizados testes mostrando a viabilidade do processo.

Palavras chave: Braille, gramatura, elementos finitos, módulo de elasticidade

## 1. Introdução

Este trabalho tem o objetivo de estudar a viabilidade física de realizar impressão Braille por um método alternativo. A tecnologia atual empregada nas impressoras possui um custo de manutenção muito elevado. Portanto, estudos de métodos que possibilitem redução do custo de aquisição e no custo de manutenção de impressoras Braille e, aumentem a acessibilidade destes equipamentos é muito importante.

O método alternativo investigado neste trabalho utiliza ar comprimido. Após obter os valores de algumas propriedades mecânicas do papel, será estimada, através de métodos numéricos e matemáticos, a pressão necessária para obter a impressão. Finalmente, um experimento atestará a pressão mínima real para conseguir o resultado desejado.

## 2. Norma de referência

A norma NBR 9050 intitulada “Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos” define parâmetros da sinalização em Braille e será usada como parâmetro de referência para um resultado satisfatório.

o arranjo de seis pontos e o espaçamento entre as celas Braille está representado na figura 1.

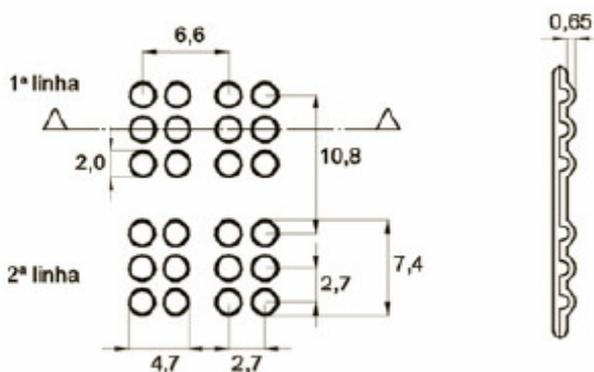


Figura 1 – Célula Braille

## 3. Dados do papel

O papel Braille possui espessura e gramatura maior, assim suas propriedades mecânicas são suficientemente altas para que a impressão não se desfaça com facilidade.

Utilizando uma amostra de 20 folhas fornecidas pelo instituto DORINA NOWILL, com 21cm de largura e 29,7cm de comprimento cada uma, formato A4.

A altura da amostra é 3,1mm e a massa é 155,71g. Medições feitas com um paquímetro e com uma balança de alta precisão. Assim obtemos a espessura e gramatura do papel Braille.

$$\text{Gramatura} = \frac{\text{Massa}}{\text{Área}} = 124,83 \text{ g / m}^2$$

$$h_{20} = 3,1 \text{ mm}$$
$$h = \frac{h_{20}}{20} = 0,155 \text{ mm}$$

#### 4. Experiência - Módulo de elasticidade e $\sigma_{m\acute{a}x}$ elástico

O objetivo da experiência é coletar dados para estimar o valor do módulo de elasticidade e o  $\sigma_{m\acute{a}x}$  elástico. As figuras 2,3 e 4 mostram o esquema da experiência o corpo de prova.

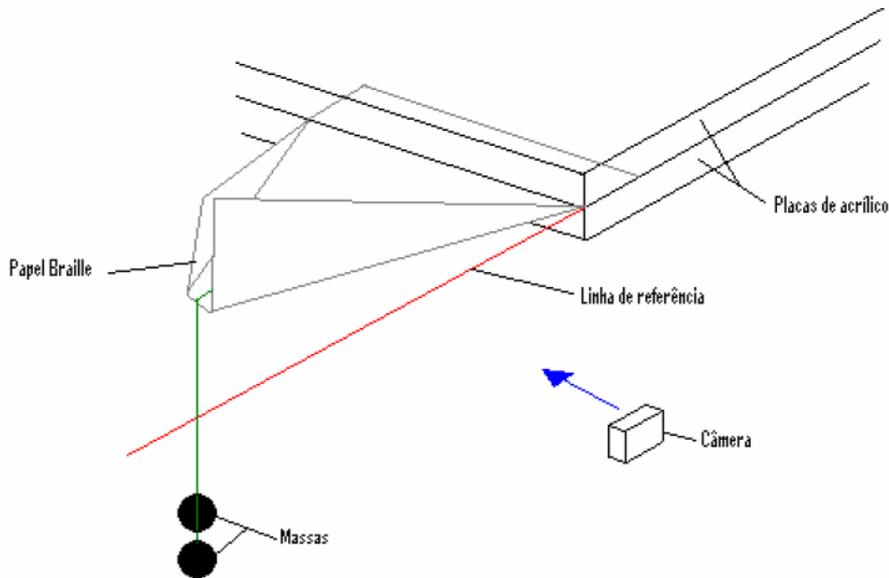


Figura 2

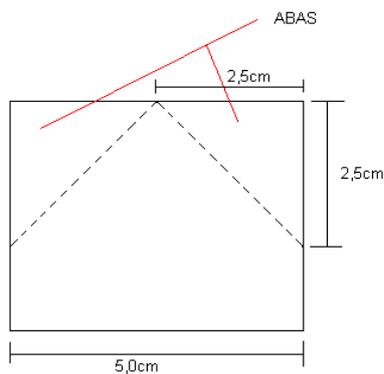


Figura 3

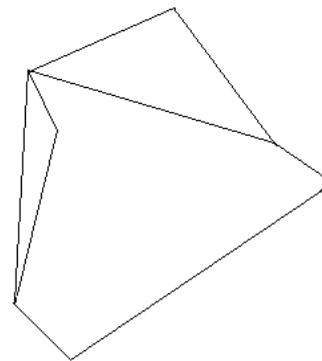


Figura 4

##### 4.1. Procedimento e tomada de dados

O corpo de prova é posicionado como indicado na figura 2, e massas de teste de 0,695g são adicionadas uma a uma para aumentar o momento fletor aplicado sobre o corpo. As abas possuem o intuito de deixar o papel com características de corpo rígido.

A cada massa adicionada uma foto é tirada, a diferença de posição da ponta do corpo de prova pode ser avaliada pela comparação com a linha de referência, e após a adição de peso a carga total é retirada para verificar se a deformação plástica ocorreu.

##### 4.2. $\sigma_{m\acute{a}x}$ elástico

No momento em que temos deformação plástica podemos estimar o  $\sigma_{m\acute{a}x}$  elástico sendo conhecido o momento fletor aplicado, e o momento de inércia, através da equação 1.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \times \frac{h}{2}}{I} \quad (1)$$

O momento fletor aplicado no corpo de prova é a somatória dos momentos. Os momentos atuantes são:

- Momentos devido ao peso das abas esquerda e direita
- Momento gerado pelo peso corpo de base
- Momento imposto pelo peso das massas de teste

#### 4.2.1 Braço das abas e do corpo de base e das massas de teste

O braço do peso aplicado pelas massas de teste  $h_t$  é de 2,5cm.

O braço das abas e do corpo de base pode ser determinado utilizando o conceito de centro de massa. O centro de massa dos triângulos se situa a um terço da altura, a partir da base. Porém, o braço está em uma direção perpendicular ao peso aplicado, portanto para as abas o braço  $h_a$  é facilmente definido utilizando conceitos geométricos básicos.

A figura 5 mostra os braços.

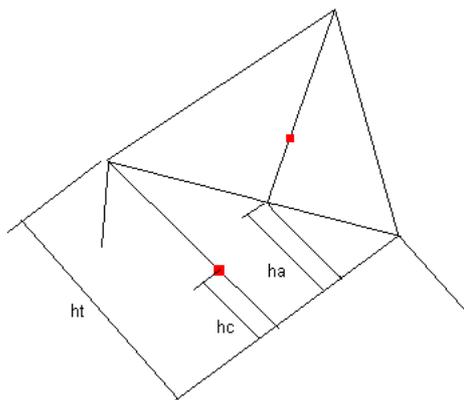


Figura 5 – braços no corpo de prova

Para o corpo de prova:  $I = 7,5807E^{-15} \text{ m}^4$

### 5. Modelos – Elementos Finitos

Neste estudo dois modelos diferentes foram utilizados em softwares de elementos finito. O primeiro usado no Winfelt teve a função de determinar o módulo de elasticidade do papel. O segundo utilizado no Solidworks visou estimar a pressão necessária para obter a impressão desejada.

#### 5.1 Módulo de elasticidade

Para estimar o módulo de elasticidade simulamos um carregamento nos elementos da figura 6.

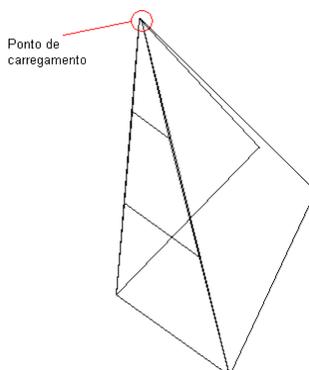


Figura 6 - Modelo com cinco elementos do corpo de prova

Os cinco elementos formam um modelo muito próximo do real, corpo de prova da experiência. O carregamento na ponta da base gera um momento fletor equivalente à somatória dos momentos existentes na experiência com a quantidade de 10 massas de teste, e mais uma massa de 7,117g referente a um recipiente e uma massa adicional.

Pela foto tirada com o carregamento de 10 massas de teste nos fornece o deslocamento vertical da extremidade do corpo.

Para obter a estimativa do valor do módulo de elasticidade, no winfelt colocamos o carregamento equivalente na

extremidade dos elementos, simulando a experiência. Variamos o módulo de elasticidade até obter um deslocamento vertical igual ao observado na experiência.

## 5.2 Pressão necessária para imprimir

O modelo simulado possui a espessura do papel real e mais de mil elementos. A largura é de 1,35mm, metade da distância entre um ponto e outro na cela Braille.

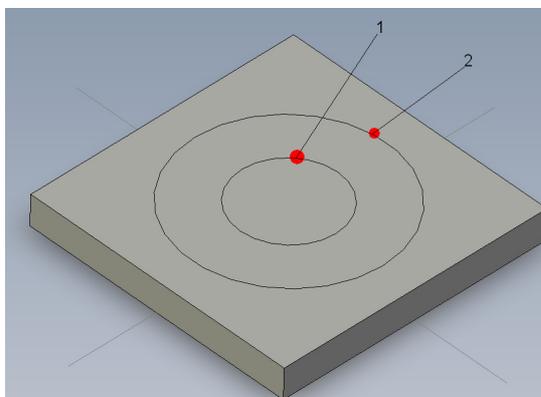


Figura 7 – Modelo em Solid Works

O círculo 1 delimita a área onde a pressão será aplicada pelo software com 0,5mm de diâmetro. O círculo 2 possui 1mm de diâmetro e defini área deformada pela aplicação da força do ar comprimido.

As condições de contorno utilizadas foram: Todas as faces laterais foram travadas. A superfície externa ao círculo 2 tem livre movimento no plano da superfície, e internamente tem livre movimento em todas as direções.

A pressão uniforme é aplicada na região interna ao círculo 1.

## 6. Teste de pressão estática

Para que o resultado calculado, necessário para se obter a impressão Braille, seja comprovado, um teste real pode ser realizado.

Colocar o papel Braille sobre uma placa de alumínio com um orifício e aplicar pressão com ar comprimido na parte superior do papel, é o experimento que atestaria a pressão necessária para obter a deformação do papel. A figura 8 abaixo representa o esquema do teste.

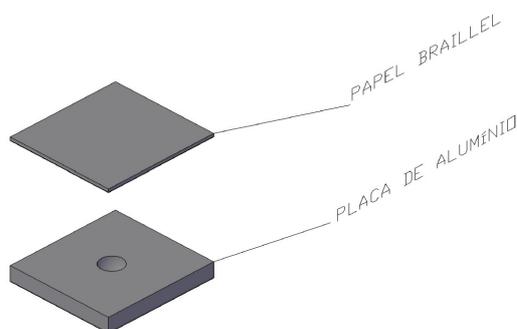


Figura 8 – Papel e placa para experimento de pressão estática

A placa de alumínio tem a função de uma matriz de impressão.

## 6.2 Vaso de pressão

Com um vaso de pressão onde a pressão necessária já está armazenada, só é preciso que um sistema seguro opere o gás. A figura 9 mostra o esquema da instalação proposta.

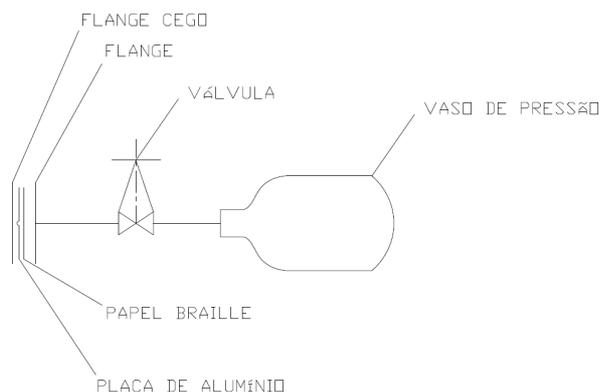


Figura 9 – Fluxograma – Vaso de pressão

Neste esquema fica claro a proposta de ensaio. O vaso de pressão contém ar comprimido a 4500psi, aproximadamente 310bar, ou menos, a válvula permite a saída do ar do vaso até o sistema. O flange sobreposto e o flange cego são conexões para fechar o sistema. O papel e a placa de alumínio devem ser colocados entre o flange e o flange cego.

### 6.3 Flanges escolhidas

O flange escolhida foi o flange roscado, devido à facilidade na construção da instalação, não será necessário um profissional especializado em soldas.

Através da norma ASME B16.5, que normaliza o uso de tubos flangeados e flanges, é possível especificar qual classe de pressão será necessária para atender as necessidades do projeto.

Definindo o material como aço forjado A216 Gr. WCB.

Para a pressão de 3705psi, aproximadamente 250bar, na temperatura ambiente a classe de pressão do flange é de 1500psi. Conforme mostrado na tabela 1 da norma ASME B16.5.

WORKING PRESSURES BY CLASSES, psig							
Class Temp., °F	150	300	400	600	900	1500	2500
-20 to 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170
200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560
650	125	535	715	1075	1610	2685	4475
700	110	535	710	1065	1600	2665	4440
750	95	505	670	1010	1510	2520	4200
800	80	410	550	825	1235	2060	3430
850	65	270	355	535	805	1340	2230
900	50	170	230	345	515	860	1430
950	35	105	140	205	310	515	860
1000	20	50	70	105	155	260	430

Tabela 1 – Classe de pressão do flange por temperatura e pressão de trabalho

### 6.4 Escolha da válvula

A válvula terá extremidades roscadas, pois o vaso de pressão é de rosca também. O castelo será preso ao corpo por uma porca solta de união, devido à alta pressão e diminuto diâmetro. O acionamento utilizará volante ou alavancas, ambos manuais.

A válvula será de bloqueio do tipo macho.

### 6.5 Determinação da rosca do cilindro

O vaso de pressão adquirido para este estudo possuía a norma de rosca desconhecida. Assim, foi necessário determinar a rosca do cilindro de gás para que to o resto da instalação possuísse rosca compatível.

Através de um pente de rosca foi obtemos o passo da rosca como 18 fios por polegada. O diâmetro foi medido com um paquímetro e 14,7mm.

Através dos dois dados coletados, acima descritos, podemos determinar a rosca como NPTF 3/8 , 18 fios/polegada,

$\Phi = 14,7\text{mm}$ .

## 7. Resultados

### 7.1 Determinação do $\sigma_{\text{máx}}$ elástico

Observou-se deformação plástica da papel quando a carga aplicada foi a soma das cargas de 13 massas de teste, a massa adicional e o recipiente. As figuras 10 e 11 mostram fotos que permitiram a comparação feita.

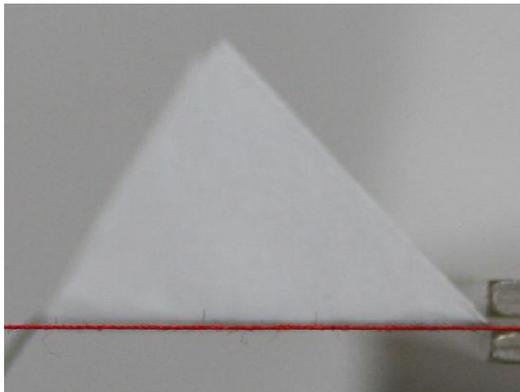


Figura 10 – carregamento nulo

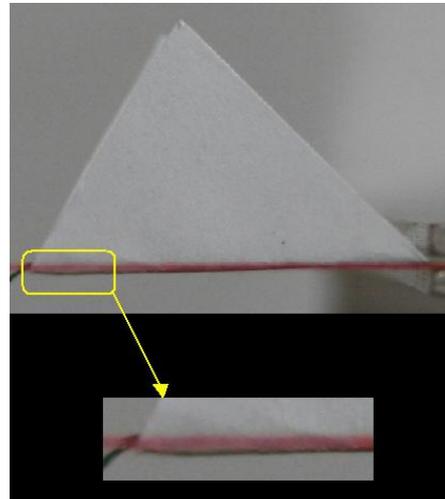


Figura 11 – Deformação plástica

Assim podemos calcular o momento fletor mínimo que causa deformação plástica. O momento aplicado foi de  $0,004 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Com o momento total aplicado, obtemos o  $\sigma_{\text{máx}}$  em regime elástico.

$$\sigma_{\text{máx}} = 39809679,11 \text{ N/m}^2 = 39,81 \text{ MPa} = 398,1 \text{ bar}$$

### 7.2 Determinação do módulo de elasticidade

Com o carregamento de 10 massas de teste, a moeda e o recipiente, o deslocamento foi de  $0,006896 \text{ m}$ . O deslocamento foi calculado a partir da figura 12.

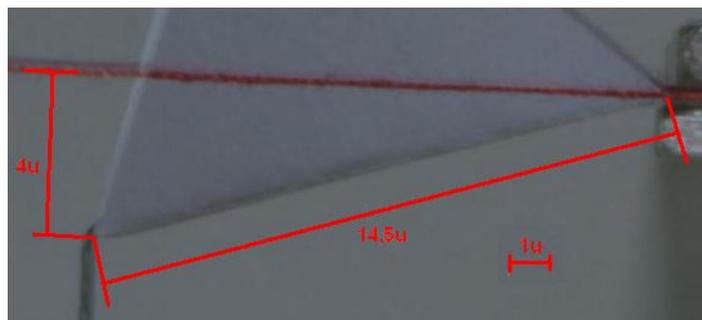


Figura 12 – Deslocamento causado por um peso teste

A unidade  $u$  é uma unidade criada para a obtenção do deslocamento. Sendo que  $1u=0,001724\text{m}$ , ou seja  $14,5u = 2,5 \text{ cm}$ . Considerando o alongamento do corpo de prova desprezível.

O momento fletor para esse carregamento é:  $M_t = 0,00347 \text{ N}\cdot\text{m}$

A força equivalente a ser aplicada no extremo do corpo para se obter o mesmo momento é:

$$F = 0,13882 \text{ N}$$

Simulando o modelo da figura 6. com módulo de elasticidade  $E=2,6\text{GPa}=26\text{Mbar}$  obtemos os seguintes resultados esperados.

### 7.3 Pressão Mínima

Para determinar a pressão mínima necessária para se obter deformação plástica do papel a análise dos resultados se deu sobre a tensão na região do círculo 2 do modelo da figura 7. A tensão nessa região deve ser no mínimo igual à tensão máxima elástica, garantindo a deformação plástica dessa região. Assim é possível dizer que a impressão em alto

relevo terá ocorrido.

A pressão mínima determinada pelas simulações foi de 21MPa, aproximadamente 210bar.

As figuras 13 e 14 abaixo apresentam as tensões e o deslocamento obtidos.

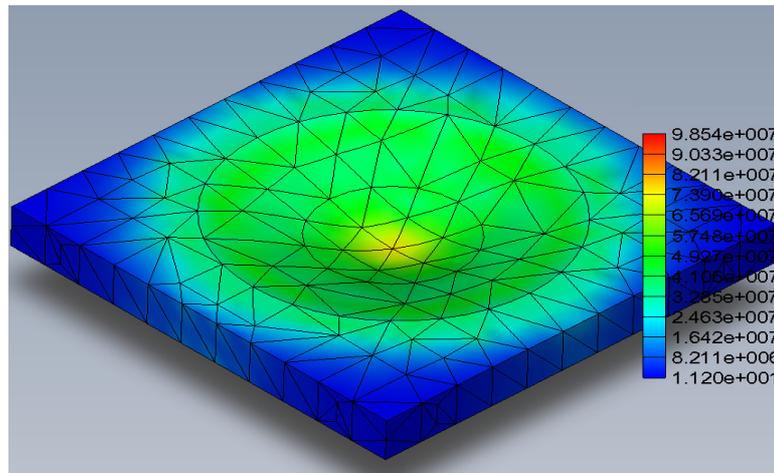


Figura 13 – Tensões

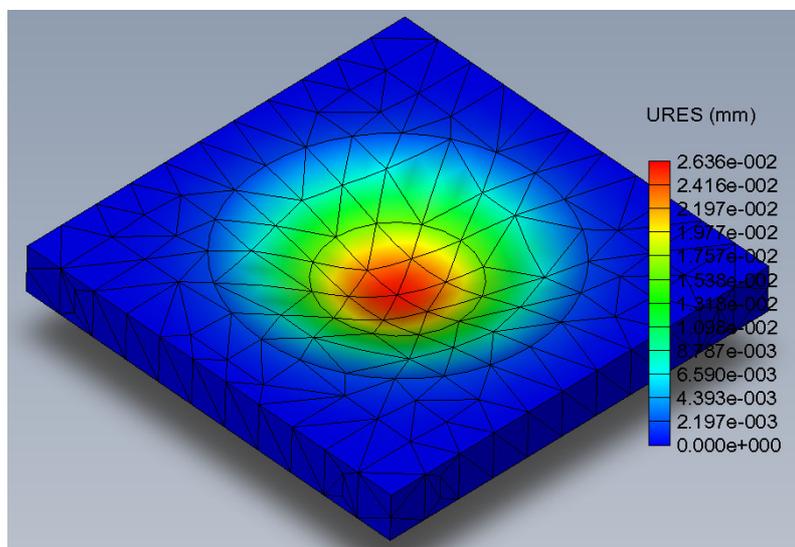


Figura 14 – Deslocamento vertical

## 8. Impressão com jato de ar

### 8.1 Tipo de válvula

A válvula deve ter um acionamento rápido. As válvulas do tipo agulha satisfariam a necessidade do projeto, mas, provavelmente teria desgaste tão rápido quanto o pino utilizado atualmente nas impressoras Braille convencionais, pois sofreriam esforços de mesma ordem de grandeza.

O sistema de disparo utilizado em equipamentos de paintball supre as necessidades requeridas, durabilidade e velocidade (chega a disparar 30 vezes por segundo).

### 8.2 Sistema de disparo

Nos marcadores de paintball os projéteis de tinta, bolinhas de tina, são impulsionados por gás comprimido. A figura 15 representa o sistema.

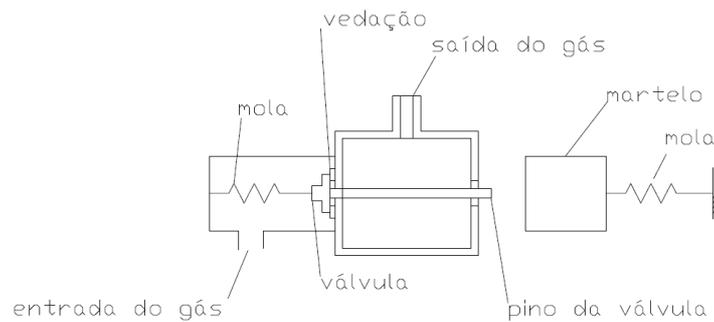


Figura 15 – Sistema de disparo rápido de ar comprimido

### 8.3 Funcionamento do sistema

A válvula de retenção impede a passagem do gás para a saída. Além da pressão do gás a pressão da mola garante o retorno à posição normal da válvula após o seu acionamento.

Quando o martelo é liberado, este bate no pino da válvula por força de sua mola, fazendo com que a passagem de gás seja permitida. A mola da válvula a força o fechamento e interrupção do escoamento. O gás que passa para a segunda câmara faz com que o martelo volte à posição inicial e expela uma grande quantidade de gás pela saída do gás.

### 8.4 Bico de saída

O bico de saída do ar teria de ser convergente com 1mm de diâmetro e deve ser conectado na saída do gás. A figura 16 mostra uma idéia do bico de saída.

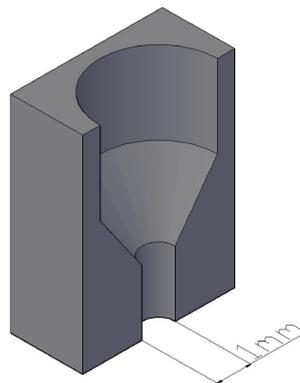


Figura 16 – Bico de saída

Para conseguir uma peça com dimensões tão reduzidas o método de usinagem teria de ser por eletro erosão, que possuem precisão de 0,005mm e conseguem rugosidades de 2.5µm Rmax.

## 9 Teste com disparos de ar

Utilizando o sistema de válvula descrito anteriormente, foram realizados testes com pressão de saída de 600bar, a pressão é reduzida porque o sistema empregado possui algumas câmaras de expansão para segurança que reduzem a pressão de saída.

O tubo de saída possui diâmetro de 17mm, permitindo o teste de impressão com os diâmetros de 9,1mm, 4,15mm, 3,20mm, 5,30mm, 10,7mm.

O teste visou obter a impressão em alto relevo utilizando uma placa de impressão e uma espuma de vedação, a folha de papel foi colocada entre os dois componentes. Porém não foi obtida nenhuma impressão no papel.

### 9.1 Teste com placa de impressão em alto relevo

Utilizando uma placa de impressão com um pino em alto relevo e o mesmo sistema no teste anterior conseguimos resultados satisfatórios.

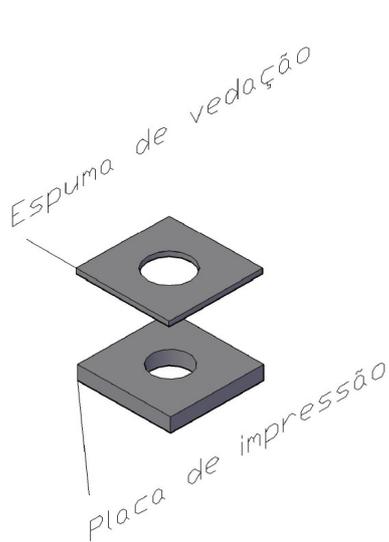


Figura 17 – Esquema de teste 01

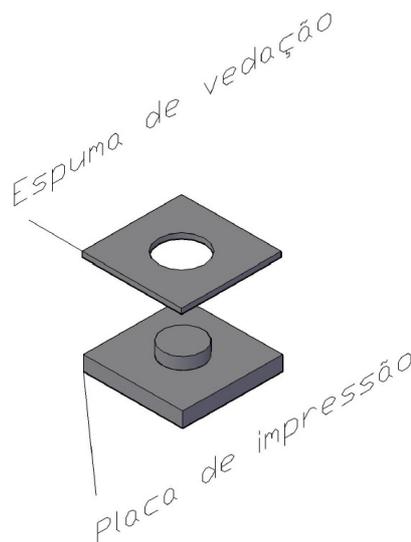


Figura 18 – esquema de teste 02

Foram testados altos relevos com formas e alturas diferentes.

Tabela12 – Pontos de teste – placa de impressão

Forma	Ponto	Altura (mm)	Resultado
pontiagudo	1	1,30	rasgou papel
redondo	2	2,10	rasgou papel
pontiagudo	3	1,25	rasgou papel
pontiagudo	4	1,40	rasgou papel
pontiagudo	5	1,15	rasgou papel
pontiagudo	6	1,80	rasgou papel
chato	7	1,10	impressão leve
chato	8	1,70	rasgou papel
chato	9	1,10	impressão muito leve
chato	10	1,30	rasgou papel
chato	11	1,25	rasgou papel
chato	12	1,85	rasgou papel

Para o caso 2, a impressão sem espuma de vedação e com uma espuma cobrindo totalmente o papel também foram verificadas. No teste sem espuma obteve-se uma leve impressão, e com uma espuma cobrindo o ponto foi obtida uma impressão muito boa, onde o papel não foi rasgado.

## 9. Discussão dos resultados e comentários finais

Em papéis de gramatura e espessura menores o módulo de elasticidade é em média igual a 2GPa, conforme a tabela 10 mostra as diferentes propriedades de papéis de fibra de eucalipto para diferentes gramaturas e espessuras, segundo Mendes 2006.

Tabela 2- Módulo de elasticidade para diferentes gramaturas e espessuras (Mendes, 2006)

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	79,3	81,6	76,2	75,6
Espessura (µm)	122	122	145	130
Módulo de elasticidade (GPa)	2,37	2,92	1,47	1,90

O módulo de elasticidade não depende apenas da gramatura e da espessura, porém a tabela mostra uma referência a ser seguida. Portanto o valor de 2,6GPa para o módulo de elasticidade encontrado neste estudo está satisfatório.

Apesar do resultado em elementos finitos nos dar uma pressão alta, um teste para validar o valor obtido é factível. E o estudo do módulo de elasticidade do papel foi coeso e chegou a bons resultados.

O teste com disparos de ar comprimido com pressão estática de 600Psi foram obtidos resultados satisfatórios, atingindo o objetivo deste trabalho de investigar a viabilidade física de obter impressão Braille através do uso de ar comprimido e sem o uso de um pino a alta velocidade. O resultado foi obtido com uma pressão quase 5 vezes menor

que a pressão necessária se a pressão fosse aplicada apenas na área a ser deformada. Foi verificado que a altura e forma do alto relevo são parâmetros que influenciam de forma significativa a qualidade da impressão Braille. A impressão utilizando espuma de vedação sobre molde com saliência semi-esférica em alto relevo foi a melhor obtida, mostrada na figura 19.



Figura 19 – Impressão Braille com placa de impressão em alto relevo redondo e espuma acima do papel

## 11. Referências

- Timoshenko, Gere;, “MECÂNICA DOS SÓLIDOS”, Vol. 1; Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A 1992
- Mendes, Afonse Henrique, “Higroexpansibilidade de Papel Reprográfico Prpduzido com fibras de eucalipto em máquina industrial”, Tese de mestrado 2006, EPUSP.
- INSITUTO BENJAMIN CONSTANT - < <http://www.ibr.gov.br>>; acesso em 01 1de maio de 2007
- Van Wylen; Borgnakke, Sonntag; “Fundamentos da Termodinâmica”, 5a Edição; Editora EDGARD BLUCHER LTDA.
- Electron Erosão - <[http://209.160.65.227/\\$sitepreview/electronerosao.com.br/index.asp](http://209.160.65.227/$sitepreview/electronerosao.com.br/index.asp)> ; acesso em 30 de outubro de 2007.
- BLOW-BACK BASICS - <<http://pukindogspaintball.com/blbk/BB-BASICS.htm>> ; acesso em 25 de outubro de 2007
- Silva Telles, Pedro C.; “TUBULAÇÕES IND USTRIAIS – MATERIAIS, PROJETO, MONTAGEM”, 10ª EDIÇÃO; LTC EDITORA.

## 12. Direitos autorais

### IMPRESSORA BRAILLE – ESTUDO DE VIABILIDADE FÍSICA UTILIZANDO AR COMPRIMIDO PARA IMPRESSÃO BRAILLE

Fábio Junji Kaihami  
binhofjk@uol.com.br

**Abstract.** The system for reading and writing used by blind people is the Braille. This system was invented in France by Louis Braille, a young blind person, in 1825. In 1878, an international conference held in Paris, with the participation of eleven European countries and the United States, adopted the Braille as a standard system in literature. The Braille system uses the combination of 6 points in high relief to form their symbols, forming 64 symbols. Today the Braille printers use long pins accelerated, by electromagnetic forces, against the paper, forming the points in high relief. But the maintenance of these printers have high cost. This work investigates the feasibility of using an alternative method to print Braille using compressed air. The pressure necessary to obtain the print was computed with the aid of experimental data of the properties of paper and concepts of finite elements. The feasibility of the procedure was shown through experimental tests.

**Keywords.** Braille, finite elements, paper weigh, elasticity module