

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM MECANISMO DE IMPRESSÃO BRAILLE POR MEIO DE AR COMPRIMIDO.

Kelvin Yuso Tamura
kelvintamura@gmail.com

Vitor Zago de Almeida Paciello
Vitor.paciello@gmail.com

Resumo. O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade de um mecanismo de impressão em Braille por ar comprimido. Tal mecanismo deve ser capaz de conformar o papel por meio de uma rápida liberação de ar comprimido, sobre um pino fixo, obedecendo à norma de padronização da escrita Braille NBR9050. Para isto, o texto apresenta uma análise por elementos finitos de uma simulação da conformação do ponto Braille na folha de papel. Um estudo detalhado de um mecanismo capaz de promover uma rápida liberação de ar comprimido, assim como, um do pino fixo. Além disto, este texto apresenta uma descrição da construção do protótipo desenvolvido para se comprovar as análises teóricas apresentadas neste escopo, e o projeto do mecanismo adaptado para a utilização em impressão.

Palavras chave: Impressão Braille por ar comprimido, Método dos elementos finitos, Mecanismo de liberação de ar comprimido

1. Introdução

O sistema Braille de escrita para deficientes visuais foi desenvolvido por Louis Braille no início do século XIX. O sistema é constituído por um arranjo de seis pontos em relevo (cela Braille), dispostos em duas colunas de 3 pontos cada, que combinados entre si, representam as letras do alfabeto, números e sinais de pontuação. Atualmente, os pontos em relevo são feitos por meio de impressoras Braille, as quais utilizam pinos movidos por solenóides que são lançados contra o papel, para assim conformá-lo. Este processo, porém, apresenta um alto custo, devido ao elevado preço dos pinos, que, por serem extremamente delicados e pequenos, sofrem muito desgaste, o que faz com que tenham que ser substituídos com certa frequência. Tal fato torna o valor de venda dos livros em Braille elevados, e em alguns casos pode comprometer o acesso de deficientes visuais a tal material.

Por este motivo, torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de baratear o custo final das impressoras e, portanto, do material Braille. Neste artigo será apresentado um estudo de um mecanismo alternativo capaz de conformar os pontos em relevo no papel por meio da utilização de ar comprimido. O princípio de funcionamento deste mecanismo é aplicar pressão do ar comprimido sobre o papel apoiado sobre um pino fixo em uma base a fim de conformar o ponto Braille sobre o pino, obedecendo à norma de escrita em Braille NBR 9050.

2. Revisão Bibliográfica

Neste trabalho, alguns conceitos e propriedades de materiais da mecânica dos sólidos deverão ser utilizados para determinar a pressão de ar comprimido e as dimensões do mecanismo.

As propriedades mecânicas do papel utilizadas serão as obtidas por Fábio Junji Kaihama [1] Neste trabalho, o autor realizou um estudo prévio e propôs o princípio de funcionamento do mecanismo estudado neste artigo e, para isso, determinou as propriedades mecânicas do papel para escrita em Braille com gramatura aproximada de 125g/m². Como método para determinar o módulo de elasticidade e o limite de escoamento, Junji prendeu o papel à borda de uma mesa e mediu a deformação resultante no papel quando eram colocadas massas de testes sobre ele, tendo como referência uma linha no plano da mesa.

Por este procedimento foram obtidos os seguintes valores para o papel:

Tensão limite de escoamento $\sigma_{\text{máx}} = 39,8 \text{ Mpa}$

Módulo de elasticidade $E = 2,6 \text{ Gpa}$

Outros valores pertinentes encontrados por Junji são:

Espessura da folha de papel $t = 0.155\text{mm}$

Densidade do papel $\rho = 40.27\text{kg/m}$

Para a simulação em elementos finitos o coeficiente de Poisson do papel utilizado será 0,14 (Paulo G. Magalhães; Paulo R. de A. Figueiredo; Franco G. Dedini, 2006).

Para a determinação da pressão de ar comprimido, deve-se utilizar a relação entre pressão (P), em Pa, área (A), em m² e força (F), em N, de acordo com a Eq. (1):

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

No dimensionamento do bocal, Eq.(2), tem-se a seguinte relação, pela teoria de vasos de pressão de parede espessa:

Sendo :

a - raio interno do cilindro [m]
b - raio externo do cilindro [m]
Pi – pressão interna ao cilindro [Pa]

Po – pressão externa ao cilindro [Pa]
 σ_θ – tensão no cilindro na direção tangencial [Pa]
r – raio [m]

$$\sigma_\theta = \frac{a^2}{(b^2 - a^2)} \left(\frac{b^2}{r^2} + 1 \right) P_i - \frac{b^2}{(b^2 - a^2)} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) P_0 \quad (2)$$

Por esta fórmula percebe-se que a maior tensão é obtida quando o $r = a$, ou seja, na parte interna do cilindro. Assim, para o dimensionamento do bocal a equação se reduz a:

$$\sigma_{esc} = \frac{a^2}{(b^2 - a^2)} \left(\frac{b^2}{a^2} + 1 \right) P_i - 2 \frac{b^2}{(b^2 - a^2)} P_0 \quad (3)$$

Sendo σ_{esc} a tensão limite de escoamento do material do bocal.

Substituindo a razão entre o raio externo e o interno por γ : $\gamma = b/a$

$$\sigma_{esc} = \frac{(\gamma^2 + 1)}{(\gamma^2 - 1)} P_i - 2 \frac{\gamma^2}{(\gamma^2 - 1)} P_0 \quad (4)$$

2.1. Norma NBR9050

No sistema Braille, utiliza-se o tato para o reconhecimento dos pontos em uma cela Braille, portanto, a fim de facilitar a compressão do texto por deficientes visuais, existe a necessidade de uma padronização nas dimensões e distâncias dos pontos. Esta padronização é descrita pela norma NBR9050 – “Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos”, de 31/06/2004.

De acordo com essa norma, os pontos devem seguir as seguintes dimensões:

Diâmetro na base - 2,0mm
Altura do ponto - 0,65mm
Distância vertical e horizontal entre pontos - 2,7mm

Tais medidas, bem como as referentes à cela Braille podem ser visualizadas na Fig. 1.

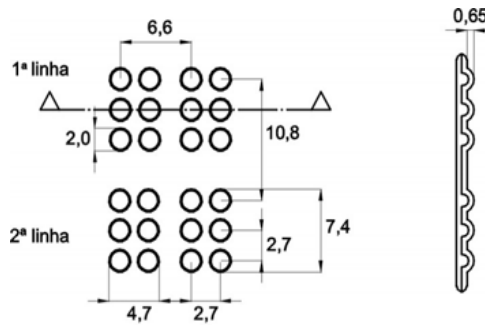


Figura 1. Cela Braille. (Norma NBR9050)

3. Análise por elementos finitos

O objetivo da análise por elementos finitos no presente trabalho foi o de obter as tensões no papel variando-se a pressão do ar comprimido e o diâmetro do bocal para conformar o papel a partir das dimensões impostas pela norma NBR9050. Devido à grande complexidade deste tipo de simulação em elementos finitos, em que seria necessário simular a interação entre duas peças, sendo que uma deforma sobre a outra, foram adotadas algumas hipóteses simplificadoras:

- O papel foi simulado com um comportamento isótropo, ou seja, foi desconsiderado o efeito das fibras do papel em sua deformação;
- Foram desconsideradas as perdas de carga no escoamento do ar comprimido ao longo do mecanismo;
- Foi considerado desprezível o escape de ar entre o bocal e a folha de papel no momento da aplicação do ar comprimido sobre a folha;
- A folha de papel foi simulada com um comportamento elástico, pois, as deformações de interesse para o estudo são as que estão localizadas na base do pino;

- A força aplicada pelo pino no papel foi aproximada por uma pressão aplicada à face oposta a do ar comprimido para que a simulação pudesse ser feita com apenas um corpo, o do papel. A magnitude da pressão foi obtida igualando-a a força da pressão do ar comprimido tendo como base as áreas do pino e do bocal:

$$P_{pino} = \frac{P_{ar\ comprimido} * A_{bocal}}{A_{pino}} \quad (5)$$

Tendo como base o trabalho realizado por Kaihame F.J., no qual foi utilizado um marcador de paintball para conseguir a pressão de ar comprimido necessário à conformação, determinou-se a pressão do ar, na simulação, igual à destes dispositivos (1,38MPa). Desta forma, foi variado o diâmetro de aplicação da pressão (diâmetro do bocal) de 3,4mm (distância entre dois pontos de uma cela Brialle) até 12,7mm (diâmetro do bocal dos marcadores de paintball). O diâmetro do pino utilizado foi de 1,0mm, pois, somado a espessura do papel (2x 0,155mm) e a um relaxamento na deformação após a aplicação da força, espera-se atingir um diâmetro final do pino de 2,0mm segundo as especificações da norma.

O software de elementos finitos utilizado foi o Abaqus®. Nele, foi criado um sólido com as dimensões 20x20x0,155mm e propriedades do papel para simular a folha de papel na região do ponto. Foram criadas duas circunferências com os diâmetros do bocal e do pino em uma das faces do sólido. Na região interna ao diâmetro do bocal foi aplicada a pressão referente ao ar comprimido (1,38MPa), enquanto, na região interna ao diâmetro do pino foi aplicada a pressão referente ao pino (equação 5). O contorno da circunferência maior foi engastado para simular o contato entre o bocal e a base. A geometria com restrições pode ser vista na figura 2

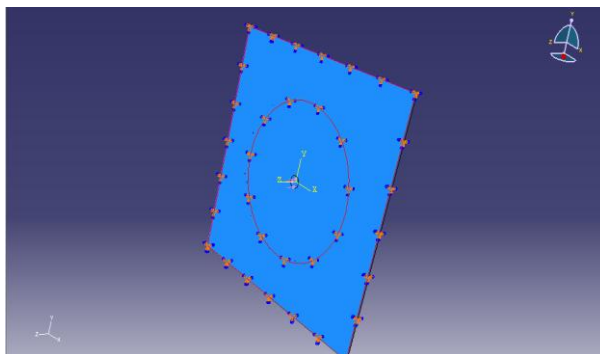


Figura 2 - Sólido com carregamentos e condições de fronteira.

A malha gerada no sólido (fig. 3) foi tetraédrica e com maior detalhamento na região interna ao bocal, pois, esta região é a de interesse.

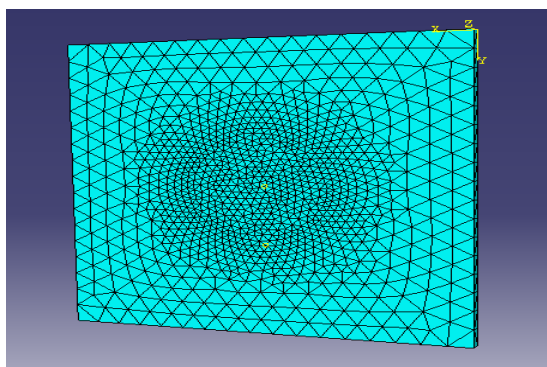


Figura 3- Malha criada no sólido

Simulações foram realizadas variando o diâmetro do bocal e a pressão do pino. Os resultados podem ser vistos na tabela 1. A tensão máxima indica a obtida na ponta do pino, enquanto a mínima indica a tensão obtida na base do pino, sendo esta última a de interesse para o estudo. A tensão mínima deve ser igual ou maior que a tensão de escoamento do papel de 39,8MPa para que o pino seja conformado no processo. O resultado mostrado pelo software para a simulação com bocal de 3,4mm pode ser visto na figura 4.

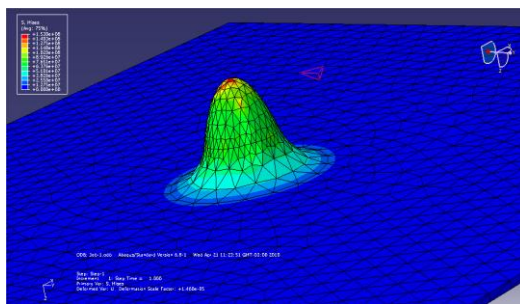


Figura 4– Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 3,4 mm.

Tabela 1 – Valores de tensões no papel obtidos pelas simulações em elementos finitos.

Diâmetro do bocal [mm]	Pressão do pino [MPa]	Tensão de Von misses no papel [Mpa]	
		Máximo	Mínimo
12,7	222	3800	724
8,0	88	1000	220
5,0	34	375	113
3,4	15	150	25,5

Analisando todos os procedimentos realizados e resultados obtidos, pôde-se notar que as tensões, na folha de papel, obtidas são suficientemente elevadas para conseguir uma deformação plástica no papel de impressão Braille.

As simplificações executadas, a fim de facilitar a construção do modelo a ser simulado, foram feitas de forma a conseguir uma máxima aproximação do modelo real e, assim, obter resultados o mais próximo dos reais possível. Tais simplificações, porém, certamente farão com que o modelo simulado não ilustre exatamente o modelo real, o que faz com que se deva considerar que as tensões reais no papel possam ser diferentes do que as obtidas pela simulação virtual.

Para os resultados obtidos nas simulações para a determinação do diâmetro do bocal não é possível afirmar que o papel será conformado nos quatro casos. Para os casos em que os diâmetros do bocal foram de 12,7mm, 8,0mm e 5,0mm as tensões obtidas no papel são muito superiores a de escoamento do papel, o que pode significar o possível rasgamento do mesmo no caso real. Na simulação feita com bocal de diâmetro de 3,4mm pode-se concluir que não seria possível a conformação do papel, uma vez que as tensões obtidas na base do pino foram inferiores à de escoamento do papel.

4. Estudo preliminar do mecanismo de impressão Braille

Para a liberação de ar comprimido será utilizado como base o mecanismo de disparo de uma arma de paintball semi-automática. Tais armas operam com pressões similares a desejada e podem disparar de 8 a 20 bolas por segundo no caso dos marcadores semi-automáticos, ou seja, possuem a pressão de ar necessária para conformar o papel e velocidade de disparo similar a velocidade de impressão dos mecanismos por punção e solenóide. Como mecanismo base será utilizado o de uma arma *Spyder Victor 2009* com pressão de ar comprimido de 1,38MPa (200psi).

4.1. Estudo do mecanismo de liberação de ar comprimido

Um marcador é dito semi-automático, quando, após carregá-lo uma vez, ao puxar o gatilho, o marcador irá disparar e recarregá-lo automaticamente, o que permite que o usuário consiga disparar com mais velocidade.

Para se começar a utilizar o marcador, inicialmente, é necessário que este esteja na posição carregada. Isto é feito puxando-se o pino de recarga para trás. Ao fazer isto, o martelo é puxado para trás, engatando no mecanismo do gatilho e contraindo a mola. Feito isso, o marcador está carregado e pronto para disparar. Nesta posição, o reservatório de ar está cheio de ar comprimido, sendo ele selado do resto do marcador pelo conjunto do retentor e pino da válvula. Esta selagem é dada por meio da ação da mola da válvula que pressiona o conjunto contra o corpo da válvula.

Ao pressionar o gatilho, este libera o martelo, fazendo com que a mola do martelo empurre o mesmo para frente. Com isso, ele colide com o pino da válvula, o que faz com que seja liberada a passagem de ar comprimido para impulsionar a bola de paintball. Parte do ar liberado é desviada, pela válvula, para a câmara de colisão e empurra o martelo para trás fazendo com que o marcador volte para a posição carregada. Neste momento, a mola da válvula empurra o conjunto do retentor e pino da válvula contra o corpo da válvula fazendo com que o reservatório de ar comprimido volte a ficar selado, interrompendo o fluxo de ar comprimido pelo marcador.

O ar que entrou na câmara de colisão durante o processo de recarga do marcador, no momento do próximo disparo, fica livre para escoar para o cano de disparo através do corpo da válvula, uma vez que a única extremidade do corpo da válvula que fica selada é a do reservatório de ar. Um ponto importante a se ressaltar, é que todo o processo, desde o acionamento do gatilho, até o marcador retornar à posição inicial, ou recarregada, ocorre em menos de um segundo.

A Figura 5 apresenta as três fases de descarga e recarga do marcador.

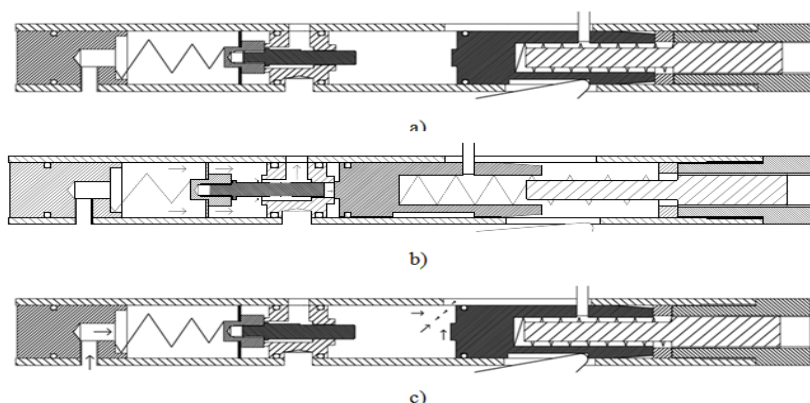


Figura 5. Funcionamento do mecanismo de liberação de ar comprimido: a)- mecanismo travado em sua posição inicial; b)-Configuração do mecanismo após a liberação do martelo; c)-Mecanismo recarregado. As setas indicam o deslocamento do ar.

4.2. Dimensionamento do bocal

Para o funcionamento adequado do pino, o bocal deve possuir espessura suficiente para suportar as tensões geradas pelo uso de ar comprimido. O bocal também deve suportar o possível impacto proveniente de seu movimento vertical para o posicionamento sobre o pino, porém, como este movimento depende do dimensionamento de partes do mecanismo de disparo, bem como da borracha de vedação a ser colocada entre o papel e o bocal, as cargas geradas serão consideradas como um acréscimo na pressão interna do ar comprimido. Pelo mesmo motivo, a fadiga relacionada a esse movimento não será estudada.

Levando em conta esses fatores e os resultados obtidos nas simulações por elementos finitos, o bocal será dimensionado para uma pressão interna 1,5 vezes maior que a do ar comprimido. Portanto, pela teoria de vaso de pressão de parede espessa, tem-se, da Eq. (4):

Tensão limite de escoamento	$\sigma_{esc} = 210\text{Mpa}$
Raio interno	$a = 5,0\text{mm}$
Pressão interna	$P_i = 2070\text{kPa}$
Pressão externa	$P_o = 1\text{atm} = 100\text{kPa}$

$$\sigma_{esc} = \frac{(\gamma^2 + 1)}{(\gamma^2 - 1)} P_i - 2 \frac{\gamma^2}{(\gamma^2 - 1)} P_o \quad (4)$$

$$\gamma = 1,01$$

Portanto,

$$b = \gamma * a = 1,01 * 5,0 = 5,05\text{mm}$$

Pelo método a cima a espessura do bocal (b-a) que suporta a pressão do ar comprimido é de 0,05mm, indicando que o bocal não é um elemento que possa inviabilizar o mecanismo.

4.3. Estudo do sistema de deslocamento vertical

Para se realizar o movimento de descida e subida do marcador de paintball para posicionar o bocal sobre o pino, foi estudado o uso de um cilindro pneumático como atuador e uma guia linear.

A escolha de um cilindro pneumático como atuador foi dada pelo fato de o deslocamento do marcador não necessitar grande precisão em seu deslocamento vertical, o cilindro ser um mecanismo de rápida ação, baixo custo, e utilizar ar comprimido como fluido de trabalho.

O tipo de cilindro a ser utilizado será o cilindro de dupla ação, que são cilindros que utilizam a ação do ar comprimido nos dois sentidos de movimento, o de avanço e o de retorno. A opção pelo cilindro de dupla ação foi dada pelo fato de, com ele, se conseguir um rápido deslocamento tanto na subida quanto na descida do marcador de paintball, o que otimiza o processo de impressão Braille, conseguindo um maior número de pinos conformados para um mesmo período de tempo.

Será acoplado ao cilindro um mecanismo que o conectará ao gatilho do marcador, de forma que quando o cilindro chegar ao seu fim de curso, este mecanismo aciona o gatilho, fazendo o marcador disparar. Desta forma, tem-se a garantia de que o mecanismo somente atuará quando o bocal estiver localizado sobre o pino.

Será utilizada uma guia linear, em que o sistema de conformação do papel será acoplado no corpo desta guia, que o guiará em seu deslocamento vertical. Nela também será acoplado o cilindro pneumático, que será o atuador responsável movimentação vertical do corpo da guia.

5. Testes com protótipo

Antes da montagem do equipamento, foram realizados testes preliminares do equipamento, sem o mecanismo de deslocamento vertical, para verificar a eficácia, ou não, do mecanismo para a impressão de um pino Braille.

O equipamento utilizado nesta primeira fase de testes foi composto por um marcador de paintball; um cilindro de CO₂ de 12 oz, que corresponde a uma massa de 373,24g de CO₂; pregos de aço, de diâmetros 1,1 ; 1,3 e 1,5 mm; duas placas de madeira de 3 mm de espessura;

Para a metodologia de testes, inicialmente, foram selecionados cinco pregos de cada diâmetro. Cada conjunto de cinco pregos de diâmetro semelhante foi cortado de maneira que cada prego do conjunto ficasse com altura variada. Os pregos foram, então, fixados a uma base para serem utilizados como os pinos fixos do processo de conformação. Feito isso, utilizando uma lima para metais, cada um dos 15 pregos fixados à madeira tiveram suas pontas limadas, sendo algumas com uma ponta abaulada, outros sem ponta, ou seja, com a face superior fazendo um ângulo de 90° em relação à face lateral, e outros com uma ponta mais fina. Na outra tábua de madeira, foram feitos furos de 2,0mm.

Para iniciar o experimento, o recorte de madeira com um furo de 2 mm de diâmetro foi posicionado sobre um dos pregos fixados à placa, de maneira que o prego ficasse dentro do furo do recorte. Isso foi feito para que na base do pino se tenha um local de escape do ar que fica entre a folha de papel e o pino.

Foi posicionada a folha de papel para impressão Braille sobre a ponta do prego, e o bocal do marcador de paintball sobre a folha de papel. Posicionados todos os elementos do mecanismo, foi feito um disparo do marcador sobre a folha de papel. Sendo este procedimento repetido para os demais pinos com a finalidade de verificar a influência do diâmetro, da altura e do formato da ponta do pino durante o processo de conformação do papel. Um resumo dos resultados obtidos neste experimento estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2-Resultados obtidos pelo teste do protótipo.

Diâmetro do pino(mm)	Altura do pino (mm)	Tipo de ponta	Resultado da conformação
1,1	2,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	1,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	0,5	Abaulada	Pino conformado, porém com diâmetro inferior ao exigido pela norma
1,3	1,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	0,5	Sem ponta	Rasgou o papel
		Abaulada	Pino conformado, porém com diâmetro inferior ao exigido pela norma
1,5	1,0	Sem ponta	Rasgou o papel
		Abaulada	Rasgou o papel
	0,5	Abaulada	Pino conformado com diâmetro exigido pela norma

Como foi verificado que para a maioria das situações o pino rasgava o papel, optou-se por realizar disparos em alturas diferentes, ou seja, sem que o bocal encostasse-se ao papel. Como resultado, percebeu-se que o papel se conformava igualmente com o bocal a distâncias de até 5cm do papel.

O fato do bocal não precisar estar encostado ao papel para conformar o pino elimina a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical. Desta forma, pode-se reduzir o tempo gasto em impressão, pois ar pode ser liberado sem que seja necessário esperar o posicionamento do bocal e elimina-se o possível problema de deformar pinos previamente marcados com o bocal, além de reduzir o custo final da impressora, o que viabiliza ainda mais este mecanismo como uma alternativa para as impressoras de baixa tiragem atuais.

Com o resultado positivo dos testes preliminares do protótipo, partiu-se para a etapa de construção de um primeiro protótipo, com a finalidade de produzir pontos semelhantes, eliminando as principais causas responsáveis pela geração

de pontos com dimensões variáveis, como a variação da distância entre o marcador de paintball e o papel, a ausência de fixação do papel no momento do disparo, e a variação na altura do pino fixado à base do mecanismo.

Para isto, o marcador foi fixado em uma placa e esta presa por duas barras laterais à base com o pino fixo. Rasgos foram adicionados às barras laterais e a placa para possibilitar o deslocamento vertical e horizontal do marcador. A estrutura foi construída com largura entre as barras de 315mm, que é a mesma largura das folhas de papel utilizadas para possibilitar que estas não se deslocassem lateralmente durante o processo de conformação.

Uma das dificuldades, na fase de testes preliminares do mecanismo, foi a fixação do pino à base, pois ao se disparar o marcador algumas vezes, o prego fixado à placa de madeira começava a descer, variando a altura do pino. Para a solução deste problema, como base, foi utilizada uma placa de material TS, de maior espessura, e como pino, um parafuso M3, cuja ponta foi trabalhada para apresentar o perfil abaulado desejado.

Com este procedimento, foi possível, não apenas a fixação do pino à base, eliminando o recuo do mesmo ao se disparar o marcador, como também foi possível a variação da altura do pino através do rosqueamento ou desrosqueamento do parafuso na base. Outra vantagem desse tipo de fixação é a possibilidade de troca do pino, caso este seja danificado.

6. Projeto do mecanismo de liberação de ar comprimido

Diante dos resultados satisfatórios obtidos na conformação do papel Braille pelo protótipo construído, foi elaborado o projeto de um mecanismo, semelhante ao marcador de paintball, porém já adaptado para a utilização em conformação de papel. Neste projeto foram estudados cada um dos componentes do marcador, para que assim fosse possível elaborar possíveis modificações, necessárias ao projeto.

No estudo dos componentes, peças como o martelo, o corpo da válvula, o retentor, molas e outras peças responsáveis pela rápida liberação do ar comprimido foram mantidas, uma vez que a pressão do ar é a mesma. As partes que sofreram alterações foram as peças estruturais, como o corpo do marcador (cano), e as partes responsáveis pelo posicionamento e recarga de bolinhas de tinta do marcador.

Nesta adaptação, toda a parte de posicionamento e recarga das bolinhas foi removida, o que acarretou em uma mudança no cano do mecanismo. O ar, ao sair pela parte superior do corpo da válvula, ao invés de ser direcionado para impulsionar a bola de paintball pelo cano, é diretamente direcionado para o papel. Com esta adaptação, a perda de carga ao longo do trajeto será menor, uma vez que existirão menos curvas, os gastos com matéria prima serão menores, pois metade da estrutura do cano será descartada, e o mecanismo ficará mais compacto, assim, facilitando a portabilidade do mesmo e possibilitando o posicionamento de mais de um mecanismo na estrutura da impressora, tornando-a capaz de imprimir mais de um pino simultaneamente.

Para as peças que não sofreram adaptações, foram elaborados desenhos de fabricação de cada uma individualmente, assim como, foi feita uma descrição mais detalhada das funções destas peças no mecanismo. Um exemplo é o martelo, Peça responsável por colidir com o pino da válvula liberando o ar comprimido do reservatório de ar para o cano de disparo e a câmara de colisão. Suas principais características são:

- A peça deve apresentar grande resistência ao impacto.
- Diâmetro externo deve ser menor do que o diâmetro interno do cano, para que o martelo possa se deslocar dentro dele.
- O diâmetro do furo, na parte traseira da peça deve ser maior do que o diâmetro externo da mola helicoidal do martelo, para que assim ela possa se alojar dentro dele.
- A redução do diâmetro externo na parte traseira da peça deve ser tal que, ao retornar para a posição carregada, o martelo consiga passar sobre a trava do gatilho.
- O furo na parte superior da peça deve estar posicionado a uma distância da face frontal, tal que o rasgo no cano para o deslocamento do pino de recarga não permita o escape de ar da câmara de colisão antes que o martelo esteja travado no gatilho.
- A peça deve apresentar um anel de vedação o mais próximo possível da face que se impacta com o pino, de para evitar que o ar passe na folga entre o martelo e a superfície interna do cano.

7. Conclusões

Na primeira parte do trabalho, em que foram analisadas as tensões causadas pelo ar comprimido no papel por meio do estudo por elementos finitos, pôde-se concluir que as tensões, na folha de papel, obtidas pela ação do ar comprimido são suficientemente elevadas para conseguir uma deformação plástica no papel de impressão Braille.

Analisando os resultados para diâmetros de bocal maiores, pode-se notar que as tensões na folha de papel obtidas foram extremamente elevadas, ou seja, foram muito superiores à tensão de escoamento do papel, o que faz com que o papel, no caso real, seja conformado, ou até rasgado, mesmo quando consideradas as incertezas descritas anteriormente. Isto pode ser afirmado pelo fato de as tensões obtidas pela simulação no software Abaqus® apresentarem uma ordem de grandeza duas vezes maior do que a da tensão de escoamento do papel.

Na parte de experimentos, pôde-se concluir que, na prática, o mecanismo de liberação de ar comprimido não precisa estar encostado na folha de papel para conseguir conformá-lo, a pressão do ar comprimido já é capaz de marcar o pino a uma distância de aproximadamente 3 cm. O fato do bocal não precisar estar encostado ao papel para conformar

o pino elimina a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical. Desta forma, pode-se reduzir o tempo gasto em impressão, pois o ar pode ser liberado sem que seja necessário esperar o posicionamento do bocal e elimina-se o possível problema de deformar pinos previamente marcados com o bocal. Pelo mesmo motivo, análises futuras podem estudar uma possível redução na pressão do ar comprimido tal que o limite de impressão do pino seja a uma distância mínima do mecanismo ao papel. Esta análise, contudo, não é possível de ser realizada pelo software de elementos finitos nem por alterações no mecanismo utilizado, uma vez que seus componentes foram dimensionados de forma a torná-lo semi-automático com a pressão de 1,38MPa. Caso essa pressão seja diminuída, o ar desviado para a câmara de colisão não será capaz de mover o martelo e recarregar o mecanismo. Contudo, tal análise pode ser efetuada por simulações em software de volumes finitos, observando a pressão do fluido na superfície do pino, tendo como volume de controle um trecho reto do bocal e uma área ao redor do pino com diâmetro suficiente para observar a expansão do ar neste trecho, a partir de um pulso de pressão no bocal (à distância de 3cm da folha obtida experimentalmente) igual a pressão do mecanismo estudado neste trabalho. A partir da pressão obtida no pino, podem-se realizar simulações com diferentes alturas e pressões do bocal para ser possível aperfeiçoar o mecanismo.

A dependência direta da conformação do papel na precisão no formato do pino pode resultar inicialmente em um encarecimento de impressoras Braille por ar comprimido, já que os pinos possuem dimensões reduzidas. Em contrapartida, foi eliminada a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical ao se notar nos testes que o bocal pode estar a uma distância de até 5cm do papel, diminuindo a complexidade e custo do mecanismo. Com isso, espera-se conseguir um preço de fabricação e manutenção inferior as impressoras Braille existentes no mercado, uma vez que estas também precisam de pinos fabricados com precisão, porém com um material de custo mais elevado e vida útil menor.

8. Referências

1. **Kaihami, Fabio Junji**; “Impressora braille: estudo da viabilidade física utilizando ar comprimido para impressão braille”; trabalho de conclusão de curso 2007, EPUSP.
2. **MAGALHÃES, P.G.; FIGUEIREDO, P.R.; DEDINI, F.G.**, “Rigidez do papelão ondulado: comparação entre resultados experimentais e os obtidos por cálculo analítico.” Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.190-199, jan./abr. 2006
3. **ALFAMATEC EQUIPAMENTOS PNEUMÁTICOS** - <<http://www.alfamatec.com.br/catalogos/werk-schott/werk-schott-cilindro-mini-iso.pdf>>; acesso em 15 de maio de 2010
4. **WARPIG.COM** - <<http://www.warpig.com/paintball/technical/>>; acesso em 23 de outubro de 2010

9. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

VIABILITY STUDY OF A MECHANISM FOR PRINTING BRAILLE BY COMPRESSED AIR

Kelvin Yuso Tamura
kelvintamura@gmail.com

Vitor Zago de Almeida Paciello
Vitor.paciello@gmail.com

Abstract. This paper presents a viability study for a mechanism for printing in Braille by compressed air. Such mechanism must be capable of conforming a sheet of paper, on a fixed pin, by rapidly releasing compressed air and following the Standard of standardization of Braille NBR9050. For this, the text provides an analysis by finite elements of a simulation of the conformation of Braille point on a sheet of paper. A detailed study of a mechanism capable of promoting a rapid release of compressed air, as well as, one of the fixed pin. Moreover, this text also provides a description of the construction of the prototype that will be developed to verify the theoretical analysis presented in this scope, and a design mechanism adapted for use in printing.

Keywords. *Braille printing by compressed air, Finite elements method, Mechanism of release of compressed air*