

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

PROPOSTA DE PROTOCOLO PARA CONFECÇÃO DE VÁLVULAS PROPORCIONAIS ELASTOMÉRICAS

CARLOS HENRIQUE CARVALHO BACCARIN¹, MURILLO KUBINHETZ MARTIM RAMOS²,
ALEXANDRE BRINCALEPE CAMPO³

¹ Graduando em Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São Paulo, carlos.baccarin@aluno.ifsp.edu.br

² Graduando em Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, Câmpus São Paulo, m.kubinhetz@aluno.ifsp.edu.br

³ Professor do Instituto Federal de São Paulo, campus São Paulo, IFSP, Câmpus São Paulo, brinca@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.03-4 Instrumentação Eletromecânica

RESUMO: Uma aplicação clássica de automação industrial é o controle da vazão de um fluido em um processo através de uma variável manipulada. Este problema é normalmente solucionado com válvulas proporcionais, dispositivos que a partir de um sinal elétrico em corrente ou tensão manipulam proporcionalmente a saída do sistema. Pela escolha dos materiais utilizados na construção destes equipamentos, a maioria das válvulas proporcionais não pode ser utilizada para manipulação de alimentos como refrigerantes, nem de insumos da área médica, sendo necessário o investimento em equipamentos consideravelmente mais caros nestas situações. Este estudo consiste em apresentar um possível protocolo para produção de válvulas proporcionais elastoméricas, que parte de um projeto idealizado em software gráfico 3D, sendo concluído com a construção das partes da válvula.

PALAVRAS-CHAVE: robótica mole; mecânica de fluidos; desenho assistido por computador (cad);

PROPOSAL OF PROTOCOL FOR CONFECTION OF ELASTOMERIC PROPORTIONAL VALVES

ABSTRACT: A classic application of industrial automation is the flow control of a process through a controlled variable. Usually, this problem is solved with proportional valves, devices that, from an electrical signal in the form of electrical tension or current, proportionally affects the flow of a fluid. Due to the choice of materials used in the construction of those appliances, most of them cannot be used for handling food such as soft drinks or medical supplies, requiring investment in considerably costlier assets in these situations. This study consists of presenting a possible protocol for creating elastomeric proportional valves, which starts from a project designed in 3D CAD software and ends with the making of the valve itself.

KEYWORDS: soft robotics; fluid mechanics; computer-aided design (cad);

INTRODUÇÃO

Em uma indústria, válvulas são utilizadas para controlar o fluxo de substâncias diversas, sejam elas líquidas ou gasosas, com diferentes valores de pressão e temperatura. Válvulas podem ser construídas em diversas geometrias e com diferentes formas de acionamentos, para várias aplicações industriais. Podem também funcionar como um interruptor, liberando ou bloqueando completamente o fluxo do material ou restringindo esse fluxo de forma proporcional, a fim de, por exemplo, controlar uma mistura em uma operação posterior.

Válvulas proporcionais tradicionais são fabricadas em aço ou alumínio usinado e possuem um acionamento via solenóide. Conforme a tensão de alimentação é alterada, a solenóide movimenta internamente um êmbolo, que é capaz de restringir ou liberar a vazão de uma substância.

A área da robótica mole explora mecanismos complacentes fabricados em materiais elastoméricos normalmente acionados por ação hidráulica ou pneumática. A natureza destes sistemas carrega notáveis não linearidades, que dificultam a implementação de soluções analíticas convencionais. Análise por elementos finitos é, portanto, uma alternativa para esta questão. A bibliografia destes dois temas é revisada por Xavier M.S. et al. (2020).

Algumas propostas de válvulas complacentes vêm sendo desenvolvidas. Zou J. et al. (2020) descreve uma válvula direcional de cinco vias bioinspirada em estrelas do mar. Diversos desenvolvimentos na área são bioinspirados, ou seja, buscam referências em sistemas biológicos observados na natureza. Wang S. et al. (2022) criou um protótipo, por impressão 3D, de uma válvula complacente biestável, Zhang X. et al. (2021) fez uma válvula reguladora de pressão complacente bioinspirada.

MATERIAL E MÉTODOS

Criação de projeto em software de engenharia assistido por computador

O início do desenvolvimento de válvulas proporcionais parte pela criação de um modelo virtual do atuador e seus componentes através de um software de fabricação assistida por computador (Autodesk Fusion 360), incluindo recursos de design que sugerem um comportamento desejado no equipamento a partir de conhecimentos prévios do comportamento das borrachas de silicone em sistemas de robótica complacente, gerando esboços que são importados para o programa Fusion 360.

Simulação de elementos finitos utilizando o software SIMULIA Abaqus

Os modelos de válvulas previamente desenvolvidas no software de CAD (Fusion 360), tem seu comportamento validado através da simulação de pré-processamento e visualização de resultados da análise por elementos finitos (FEA/AEF), realizada por meio do software SIMULIA Abaqus. Dessa forma, é possível avaliar o comportamento dinâmico do sistema, a fim de refinar o design do protótipo para que atenda as expectativas de funcionamento.

Elaboração de invólucro rígido

Alguns atuadores de robótica mole têm como componente estrutural um invólucro fabricado em um material rígido. Este recurso é utilizado em situações onde é necessário conter e direcionar a deformação elástica, a fim de garantir a compressão da passagem, onde existe fluxo de material, no interior da válvula. Uma alternativa para a produção deste componente é a prototipagem rápida através da fotopolimerização de resina através de estereolitografia, utilizando máquinas de impressão 3D.

Elaboração de moldes para peças elastoméricas

A partir do projeto de válvula proporcional idealizado, é possível iniciar as etapas de criação dos moldes para viabilizar a produção das peças elastoméricas. A primeira fase de desenvolvimento consiste em projetar os moldes via Fusion 360 utilizando como base o desenho em CAD da válvula hiperelástica. Esses desenhos, por sua vez, são prototipados utilizando os mesmos princípios os quais foram utilizados na elaboração do invólucro rígido, gerando componentes que podem ser utilizados para fabricação de válvulas elastoméricas físicas.

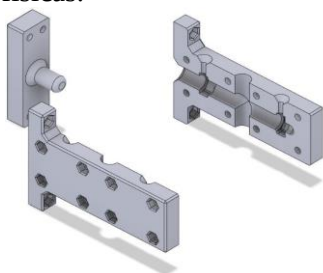


FIGURA 1. Exemplar de projeto de molde para componente elastomérico.

Criação de peças elastoméricas

Atualmente no mercado existe uma vasta gama de borrachas de silicone, as quais podem ser utilizadas como insumo na manufatura de componentes de robótica mole. Cada elastômero apresenta uma forma de preparo característica, sendo assim necessário respeitar as instruções do datasheet do material. Este artigo descreve a preparação do Platsil 73-60, que apresenta, dentre outras características, dureza shore igual a 60.

Através da análise de propriedade de massa, ferramenta disponível no software Fusion 360, é possível definir a quantidade de elastômero necessária para o preenchimento completo do molde desenvolvido anteriormente. Esse cálculo é baseado na fórmula da densidade, disponível em (1):

Equação de densidade de material:

$$d = m/v \quad (1)$$

em que,

d = densidade do material;

m = massa do material;

v = volume do material.

A partir deste valor, deve ser preparada a quantidade necessária de Platsil 73-60, respeitando a proporção de 1A:10B, deve-se misturar ambas as componentes até formar uma mistura homogênea e despejá-la no molde. Todo esse processo deve ser executado no tempo de 45 minutos. Em seguida, esperar 4 horas para a cura total do material antes de desmoldar.

Testes laboratoriais

Por fim, com todas as partes prontas e confeccionadas, é possível montar a válvula e iniciar os testes laboratoriais, viabilizando o levantamento da curva de resposta do dispositivo. Os testes iniciam-se por uma inspeção visual, a fim de identificar possíveis não-conformidades, não só na cura da peça, mas em todo o processo de fabricação. Em seguida, é interessante acionar a válvula, alimentando-a com ar comprimido, na pressão adequada para o projeto. Este teste tem como objetivo comparar os resultados obtidos na análise de elementos finitos com o comportamento real da válvula. Caso haja divergências entre os dois, é recomendável utilizar as informações obtidas para uma atualização da geometria da válvula, a fim de alcançar uma versão conveniente para uma eventual aplicação industrial.

Para o teste foram utilizados um computador com a IDE Arduino instalada, uma placa embarcada Arduino UNO R3, um sensor de vazão YF-S401, um tanque de 5 litros com água, um manômetro digital para leitura da pressão pneumática no sistema, um compressor pneumático e conexões pneumáticas.

A IDE Arduino deve possuir uma programação padrão para leitura dos dados de vazão do sensor YF-S401. O Arduino deve ser conectado ao computador com o seu cabo USB de transferência de dados. A parte elétrica do sensor de vazão é conectada no Arduino e o seu corpo é acoplado entre o tanque e a válvula, a fim de verificar a variação de vazão de água conforme a pressão de ar é aplicada na válvula. O manômetro digital é conectado em qualquer ponto da linha pneumática, para verificar a pressão empregada na câmara da válvula.

O teste consiste em abrir o tanque com água e deixá-la correr no circuito. Em seguida, verificar a vazão máxima (com a válvula sem pressão pneumática) no monitor serial da IDE Arduino. Após isso, ajustar uma pressão determinada no regulador de pressão do ar comprimido, abrir o tanque e verificar qual a nova vazão de água na IDE Arduino. A ideia do teste é repetir estes passos anteriores e aumentar a pressão na válvula gradativamente, até o momento de interrupção total da linha de fluido ou falha em algum material do sistema, por exemplo, uma ruptura na válvula ou atingir o limite de pressão da linha pneumática sem uma atuação adequada na válvula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento de uma válvula se deu pela concepção de uma estrutura composta por duas câmaras, uma de controle e outra de passagem de fluxo. O princípio de funcionamento se dá pela expansão controlada de uma das câmaras a fim de comprimir a área da seção transversal do compartimento disponível para passagem de fluxo. A geometria escolhida favorece o comportamento proposto. A figura 2 ilustra a área da seção transversal da válvula.

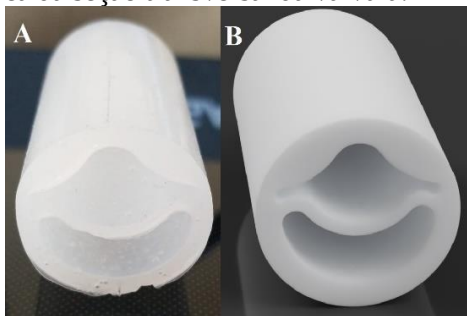


FIGURA 2 – Seção transversal da válvula real (A) projetado (B)

O molde para a fabricação da válvula mole foi devidamente projetado no software Fusion 360, de forma que é necessário realizar duas etapas de cura. A figura 3 demonstra as partes que compõem o molde utilizado na primeira etapa.

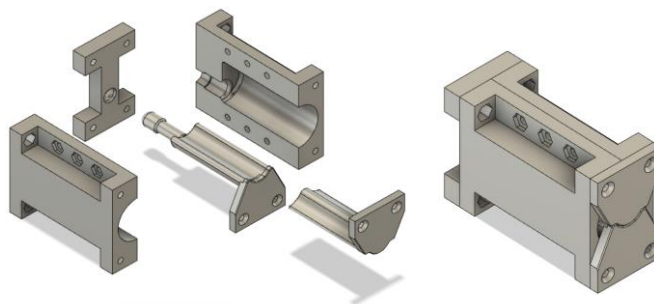


FIGURA 3 - Molde projetado para válvula hiperelástica.

Em seguida, o projeto em CAD do molde foi fatiado no software ChituBox, compatível com impressoras de estereolitografia. Que confeccionou o protótipo do molde. As imagens do molde impresso podem ser observadas na figura 4.

As superfícies do molde foram tratadas com verniz incolor, a fim de bloquear o contato do fotopolímero com o elastômero, uma vez que esta interação causa grandes alterações no tempo de cura do silicone.



FIGURA 4 - Molde impresso em resina

A partir disto, o material hiperelástico foi despejado no interior do molde, sendo necessário aguardar o tempo de cura do material, que neste caso, foi de 4 horas, dado este disponível no datasheet do material Dragon Skin 20. Após o tempo de cura, a válvula foi desmoldada (figura 2 A) e utilizada na segunda etapa. A figura 5 demonstra a válvula inserida no molde da segunda etapa e aguardando o tempo de cura.

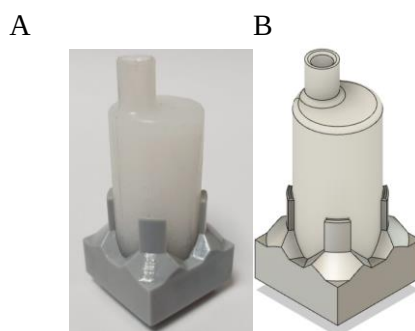


FIGURA 5 - Molde segunda etapa real (A) e projetado (B).

Uma vez desmoldada, a válvula mole pode ser testada em experimentos laboratoriais, ilustrados na figura 6, com os componentes de testes previstos. O setup permite conectar ar comprimido e uma linha de fluxo de água na válvula. Um código que está em desenvolvimento será embarcado no Arduino, este software permitirá o levantamento da curva de resposta que relaciona a pressão de controle com a vazão do dispositivo, sendo assim possível determinar a função de transferência do dispositivo.

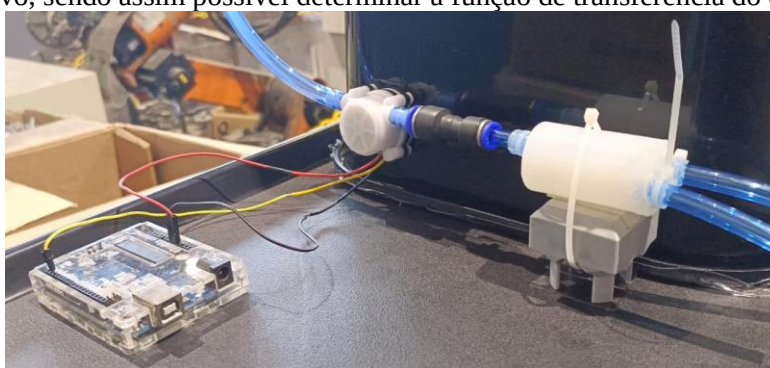


FIGURA 6 - Setup do experimento de caracterização.

CONCLUSÕES

As não linearidades características de borrachas de silicone impossibilitam o desenvolvimento de válvulas proporcionais por métodos analíticos, sendo necessária a utilização do protocolo apresentado neste artigo. O processo iterativo proposto é uma ferramenta de desenvolvimento viável, uma vez que através dele, foi possível prototipar um componente real. Por ser genérico, é possível adequar o sistema a outros componentes de robótica mole, como atuadores e sensores complacentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa institucional de iniciação científica por acreditar e financiar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Zou, M. Yang and G. Jin, "A five-way directional soft valve with a case study: a starfish like soft robot," 2020 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE), 2020, pp. 130-134, doi: 10.1109/CACRE50138.2020.9230177.
- [2] MATHIAS, A. C. Válvulas. 2ª edição. São Paulo: Artliber, 2014.
- [3] Xuanming Lu, W. Xu and X. Li, "PneuNet based control system for soft robotic tongue," 2016 IEEE 14th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC), 2016, pp. 353-357, doi: 10.1109/AMC.2016.7496375.
- [4] SMOOTH-ON, "Dragon Skin Series: Addition Cure Silicon Rubber Compounds". Disponível em: <https://www.smooth-on.com/tb/files/DRAGON_SKIN_SERIES_TB.pdf>.