

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade

O DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM MÓDULO DIDÁTICO DE AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA PARA CÉLULA DE MANUFATURA: UM INSTRUMENTO DE APRENDIZAGEM NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA EM UMA UNIVERSIDADE

THE DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A DIDACTIC MODULE OF PNEUMATIC AUTOMATION FOR MANUFACTURING CELL: AN INSTRUMENT OF LEARNING IN THE COURSE OF MECHANICAL ENGINEERING IN A UNIVERSITY

Odmartan Ribas Maciel, Ben-Hur Ribas Maciel e Eliana Ribas Maciel

RESUMO

Este trabalho objetiva apresentar os resultados do desenvolvimento e construção de um módulo didático de automação pneumática para uma célula de manufatura utilizada como instrumento de aprendizagem aos estudantes do curso de Engenharia Mecânica em uma universidade. Do pressuposto de que os sistemas pneumáticos se constituem em alternativa sustentável para sistemas de automação, capazes de gerar uma melhoria na produtividade e qualidade final do produto é que se desenvolveu o experimento. Os procedimentos utilizaram a metodologia de projeto de produtos industriais, desencadeados pela análise das necessidades de adequação de uma célula de manufatura. A partir da análise foi elaborado o projeto conceitual e o detalhado. As etapas seguintes englobaram a construção de protótipos, testes e adequações ao projeto. Os resultados evidenciaram que a aplicação da álgebra booleana permitiu a otimização do sistema de automação pneumática, por meio da substituição do método intuitivo por um método sistemático. Além do que, a concepção modular permite a alternância com possíveis futuros módulos que poderão ser construídos, bem como a alteração ou atualização do módulo de manufatura. O estudo demonstra metodologicamente que a concepção de um sistema pneumático é capaz de atender aos requisitos pré-definidos.

Palavras-chave: Sistema de automação pneumática, álgebra booleana, célula de manufatura.

ABSTRACT

This work aims to present the results of the development and construction of a didactic module of pneumatic automation for a manufacturing cell used as a learning tool for students of the Mechanical Engineering course at a university. From the assumption that pneumatic systems constitute a sustainable alternative for automation systems capable of generating an improvement in productivity and final quality of the product, the experiment was developed. The procedures used the methodology of industrial product design, triggered by the analysis of the adequacy needs of a manufacturing cell. From the analysis the conceptual and detailed design was elaborated. The following steps included the construction of prototypes, tests and adjustments to the project. The results show that the application of Boolean algebra allowed the optimization of the pneumatic automation system, through the substitution of the intuitive method by a systematic method. In addition to that, the modular design allows for the alternation with possible future modules that can be constructed, as well as the change or update of the module of manufacture. The study demonstrates methodologically that the design of a pneumatic system is able to meet the pre-defined requirements.

keywords: Pneumatic automation system, Boolean algebra, Manufacturing cell.

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo globalizado que exige o máximo de precisão e eficiência, os sistemas de automação destacam-se por gerar uma melhoria na produtividade e qualidade final do produto (VALDIERO, MANTOVANI, *et al.*, 2016), além de substituir tarefas manuais e insalubres. Devido à sua simplicidade e ao baixo custo de seus componentes básicos, os sistemas pneumáticos se tornam uma excelente alternativa para sistemas de automação (BOLLMANN, 1997).

Um sistema de automação pneumático caracteriza-se pela transmissão de energia por um fluido de trabalho que não causa danos ao meio ambiente, o ar, caracteriza-se também pela flexibilidade de usos e aplicações, boa relação peso/potência e pela durabilidade, segurança e facilidade de operação (BOLLMANN, 1997).

Atuadores pneumáticos são amplamente utilizados em muitas indústrias com a finalidade de perfuração, efetuar prensão e outras aplicações (SALIM, ISMAIL, *et al.*, 2013). Caracterizam-se por serem mecanicamente simples e robustos, possuem boas propriedades energéticas devido à compressibilidade do ar e são relativamente baratos (TASSA, WU, *et al.*, 2013).

O sistema de automação pneumático utilizado neste trabalho é do tipo convencional. Este sistema de automação é utilizado no acionamento de um atuador pneumático que irá realizar uma estampagem de uma peça na célula de manufatura.

Para o sistema de acionamento, inicialmente aplicou-se uma metodologia de projetos de comandos binários, posteriormente aplicou-se a álgebra booleana a fim de otimizar o sistema.

Com o objetivo de reduzir o número de válvulas e otimizar o sistema, aplicou-se um método de otimização baseado na álgebra booleana. A álgebra booleana é utilizada para manipulação de objetos que podem assumir dois valores, normalmente verdadeiro e falso (NULL, 2010).

Para o desenvolvimento do módulo, utilizou-se uma metodologia de projeto de produtos industriais, partindo inicialmente da análise das necessidades. Após esta análise, desenvolveu-se o projeto conceitual e em seguida o projeto detalhado. As últimas duas etapas se deram através da construção de protótipos, testes e modificações dos mesmos.

2 METODOLOGIA

Este relato tem por objetivo apresentar o desenvolvimento e construção de um módulo didático de automação pneumática para uma célula de manufatura. Esta célula de manufatura é descrita em VALDIERO; MANTOVANI, *et al* (2016).

Neste trabalho, o sistema de automação pneumático utilizado é do tipo convencional, otimizado através da aplicação de uma álgebra booleana. O sistema de automação é utilizado no acionamento de um atuador pneumático que realiza a estampagem de uma peça na célula de manufatura.

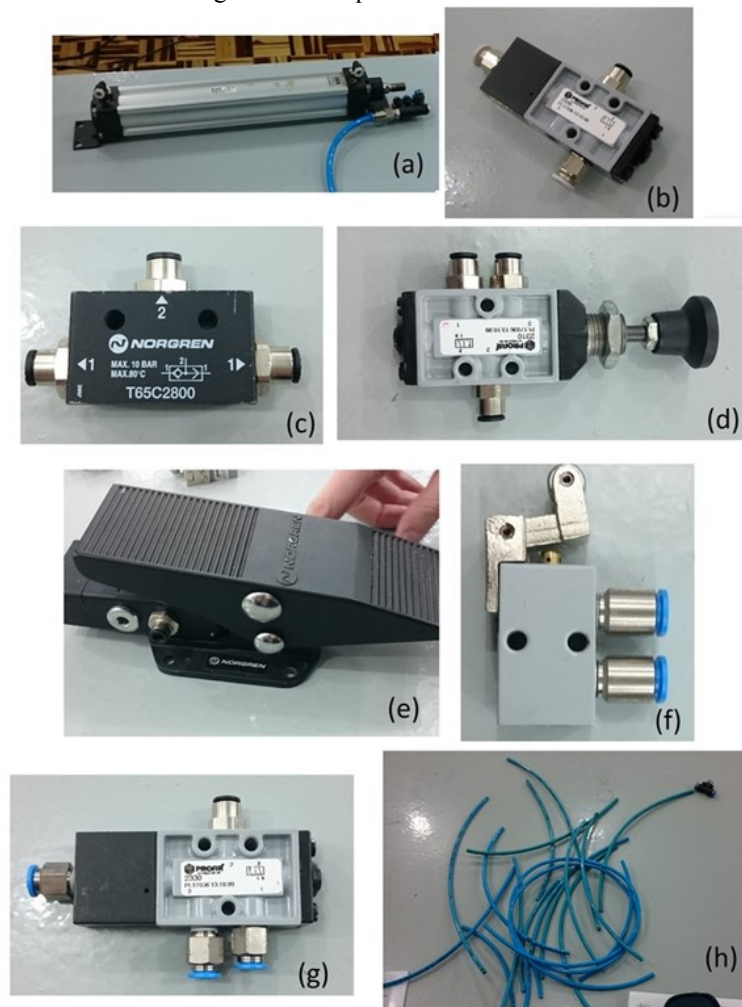
Os critérios descritos acima visam atender questões de segurança de operação, condicionando ao operador acionar o equipamento com as duas mãos ocupadas ou com a grade de proteção fechada quando acionado o pedal.

Os projetos descritos neste trabalho foram desenvolvidos no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS/ UNIJUÍ Campus Panambi). O núcleo de pesquisa é constituído por professores, mestrandos, bolsistas de iniciação científica e tecnológica do curso de Engenharia Mecânica.

O apoio financeiro para os projetos é da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científica e

Tecnológico (CNPq), através do projeto de iniciação científica de título “Pesquisa em Mecatrônica orientada aos desafios da sociedade”.

Figura 1 - Componentes utilizados



Fonte: autores do estudo

Descrição do projeto

Após estudo bibliográfico fundamentado em Bollmann (1996), desenvolveu-se experimento prático em laboratório, utilizando válvulas AND e OR para transmitir a pressão para o sistema pneumático e com isso acionar o atuador pneumático.

Em função dos critérios descritos na seção 2, que constituem as condições de comando, desenvolveu-se a tabela de correspondência, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de correspondência

Variáveis de entrada	Notação	Correspondência Lógica
Acionamento manual por botão 1	E1	Botão acionado (E1=1)
Acionamento manual por botão 2	E2	Botão acionado (E2=1)
Acionamento por pedal	E3	Pedal acionado (E3=1)
Sensor de grade fechada	E4	Grade fechada (E4=1)
Variáveis de saída	Notação	Correspondência Lógica
Sinal para avanço do cilindro	S	Cilindro avança (S=1)

Fonte: autores do estudo

A partir desta tabela de correspondência, desenvolveu-se a tabela verdade, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela verdade

Linha	E4	E3	E2	E1	S
00	0	0	0	0	0
01	0	0	0	1	0
02	0	0	1	0	0
03	0	0	1	1	1
04	0	1	0	0	0
05	0	1	0	1	0
06	0	1	1	0	0
07	0	1	1	1	1
10	1	0	0	0	0
11	1	0	0	1	1
12	1	0	1	0	1
13	1	0	1	1	1
14	1	1	0	0	1
15	1	1	0	1	1
16	1	1	1	0	1
17	1	1	1	1	1

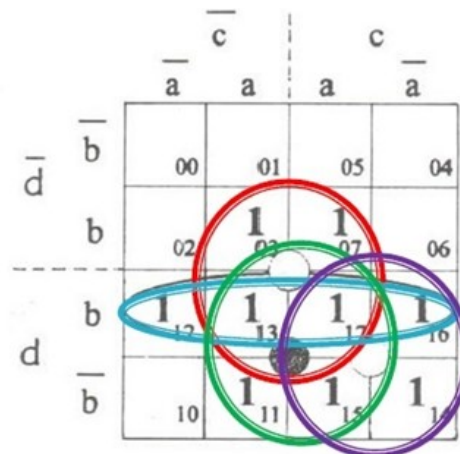
Fonte: autores do estudo

Tendo por base a tabela verdade, desenvolveu-se a equação booleana, na sua forma canônica disjuntiva, que utiliza somente os valores com a variável de saída S=1. Esta equação é apresentada na Equação 1.

$$\begin{aligned}
 S = & \overline{E4} \cdot \overline{E3} \cdot E2 \cdot E1 + \overline{E4} \cdot E3 \cdot E2 \cdot E1 + E4 \cdot \overline{E3} \cdot \overline{E2} \cdot E1 + E4 \cdot \overline{E3} \cdot E2 \cdot \overline{E1} + E4 \cdot \overline{E3} \\
 & \cdot E2 \cdot E1 + E4 \cdot E3 \cdot \overline{E2} \cdot \overline{E1} + E4 \cdot E3 \cdot \overline{E2} \cdot E1 + E4 \cdot E3 \cdot E2 \cdot \overline{E1} + E4 \\
 & \cdot E3 \cdot E2 \cdot E1
 \end{aligned} \quad (1)$$

Aplicando o método gráfico do Diagrama de Karnaugh (Figura 2) tem-se:

Figura 2 - Diagrama de Karnaugh



Fonte: autores do estudo

As letras de “a”, ”b”, ”c” e “d” correspondem respectivamente ao botão 1, botão 2, pedal e grade. Quando sobrelinhados há o não acionamento do componente.

No diagrama são demarcados os campos que possuem saídas S=1, os quais estão circulado com cores diferentes. Estes agrupamentos de campos compõem quatro termos minimizados da equação booleana:

- Termo do grupo 3-7-13-17: $a \cdot b$
- Termo do grupo 12-13-17-16: $b \cdot d$
- Termo do grupo 13-17-11-15: $a \cdot d$
- Termo do grupo 17-16-15-14: $c \cdot d$

A partir dos termos obteve-se a equação booleana simplificada, expressada na Equação 2.

$$S = a \cdot b + b \cdot d + a \cdot d + c \cdot d \quad (2)$$

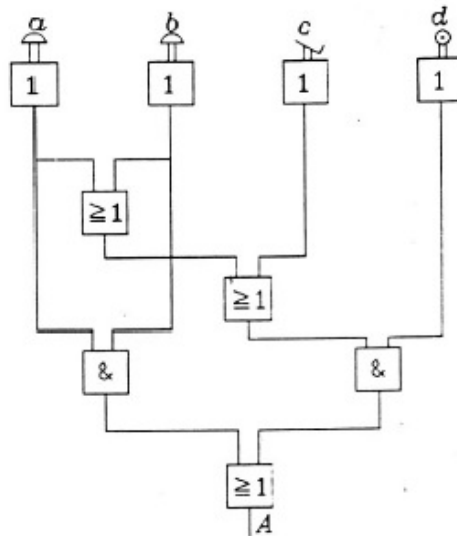
Reescrevendo a Equação 2, a fim de expressá-la numa forma mais simples, obtém-se a Equação 3.

$$S = a \cdot b + d \cdot (a + b + c) \quad (3)$$

Esta equação apresenta as possibilidades de acionamento do atuador após a aplicação da álgebra booleana. Estas possibilidades são o acionamento simultâneo dos botões ($a \cdot b$) ou então a combinação de grade (d) juntamente com botão 1 (a), ou botão 2 (b) ou pedal (c).

A partir da Equação 3, desenvolveu-se um fluxograma lógico, o qual serviu de base para a montagem física do sistema pneumático, conforme ilustrado na Figura 3.

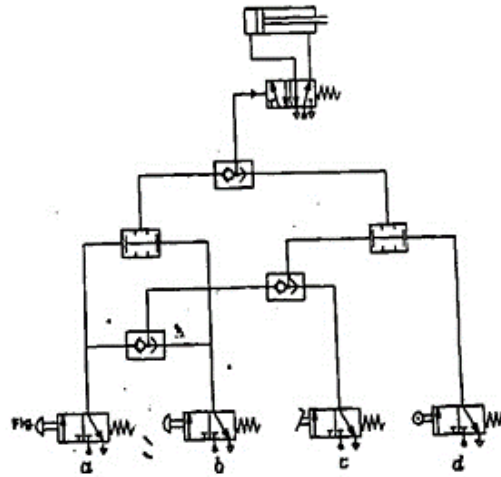
Figura 3 - Fluxograma lógico da equação booleana



Fonte: Adaptado de Bollmann (1996).

Para o projeto conceitual do sistema pneumático, utilizou-se a simbologia de acordo com a norma ISO 1219, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Circuito pneumático de acordo com a norma ISO 1219



Fonte: Bollmann (1996)

Concluído o desenvolvimento do circuito pneumático, realizou-se a montagem do mesmo utilizando os componentes pneumáticos, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Circuito montado



Fonte: autores do estudo

Com os propósitos didáticos procedeu-se a montagem do circuito pneumático de uma forma semelhante ao apresentado por Bollmann (1996). Tal método tem por objetivo permitir que o circuito pneumático possa ser melhor visualizado por estudantes de graduação da universidade.

3.2 Mecanismo de estampagem

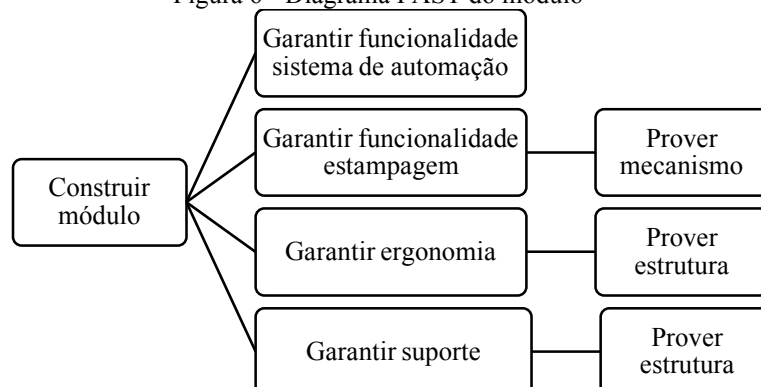
Metodologia de projeto aplicada

Partindo de uma metodologia de projetos de produtos mecatrônicos descrita em Valdiero e Rasia (2016), analisou-se as necessidades que o projeto deveria contemplar.

Definiu-se que os aspectos mais importantes seriam a garantia da funcionalidade do sistema de automação, bem como a funcionalidade do sistema de estampagem, a ergonomia do módulo e que este suporte os componentes nele fixados.

Baseado na análise das necessidades desenvolveu-se um diagrama FAST, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama FAST do módulo

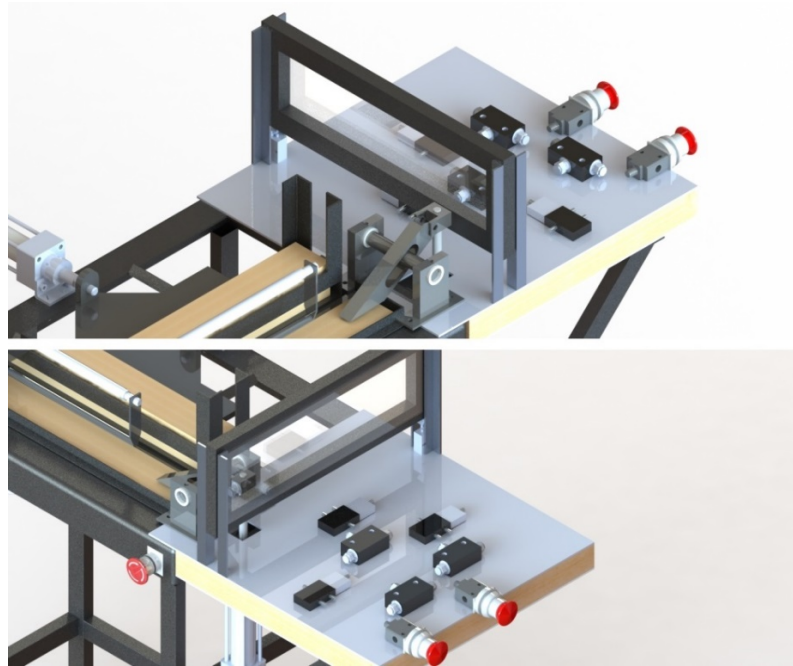


Fonte: autores do estudo.

Descrição do projeto

Desenvolveu-se a maquete eletrônica da cabine de enclausuramento utilizando o software Solidworks conforme ilustra a Figura 7 por dois ângulos diferentes.

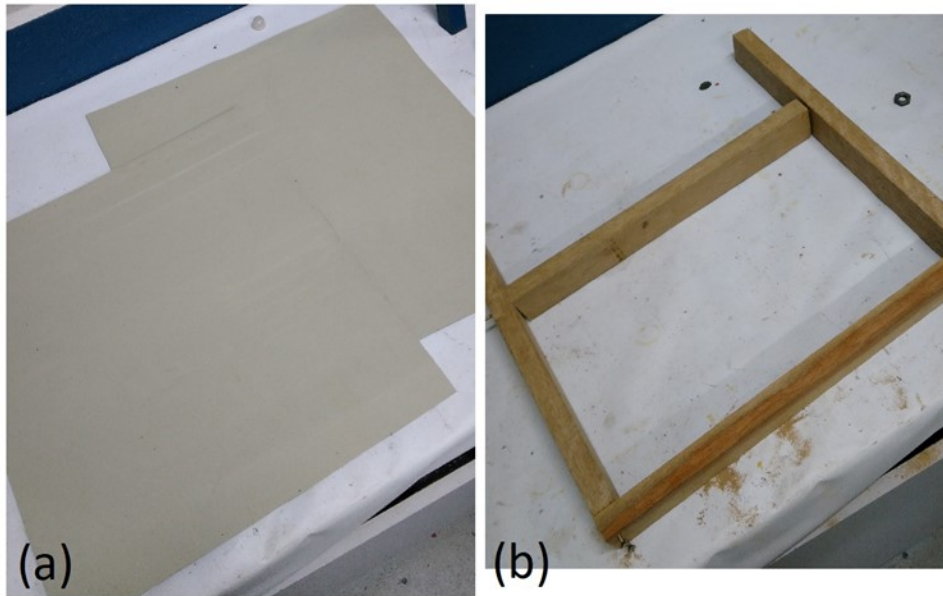
Figura 7 - Maquete eletrônica



Fonte: autores do estudo

Projetou-se um suporte com placas de polipropileno (Figura 8-a), de 2mm de espessura, e ripas de cedro (Figura 8-b) seção de 20x40mm, responsável pela sustentação do sistema de automação pneumática e também para proteger e conter as mangueiras pneumáticas e conexões.

Figura 8 - Materiais utilizados na construção da proteção



Fonte: autores do estudo.

A fim de garantir a sustentação do módulo, utilizou-se duas mãos francesas (Figura 9). Estas foram construídas utilizando perfis retangulares, seção 20x30mm, em aço SAE 1020.

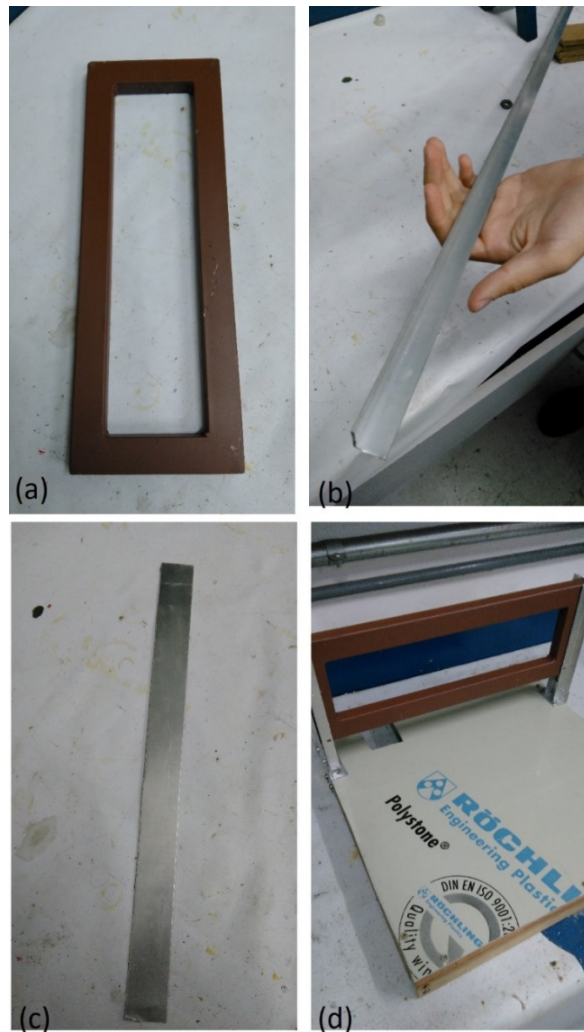
Figura 9 - Mão francesa



Fonte: autores do estudo.

O mesmo perfil utilizado na construção da mão francesa fora utilizado na grade de proteção (Figura 10-a). Foram utilizadas cantoneiras de alumínio, abas iguais de 17mm (Figura 10-b) e um perfil plano de alumínio, seção de 40x3mm (Figura 10-c) na construção das guias para a grade. Na Figura 10-d está ilustrado a montagem final da grade.

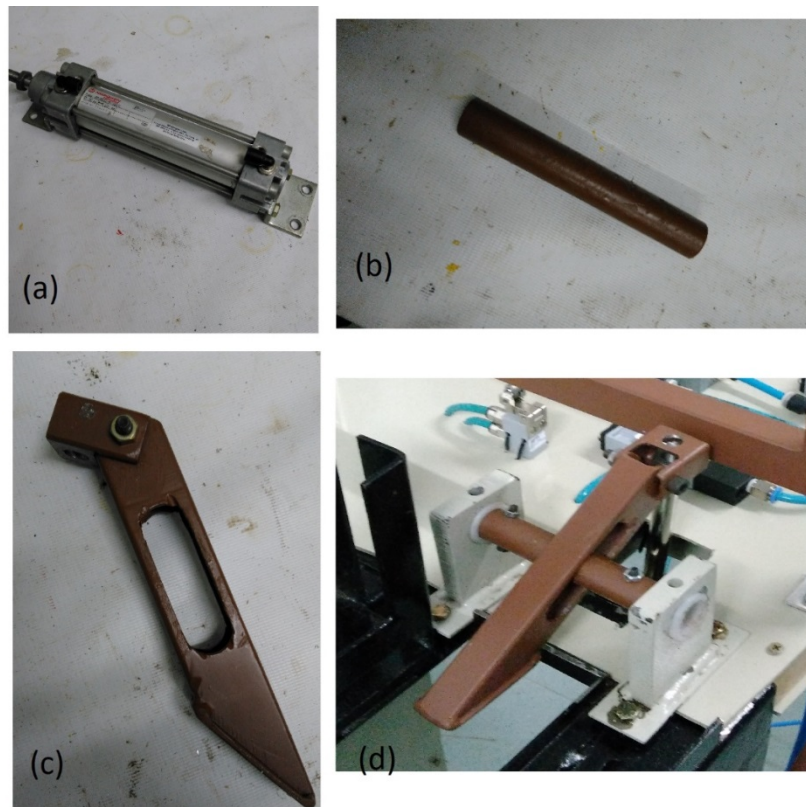
Figura 10 - Montagem da grade



Fonte: autores do estudo.

Desenvolveu-se um mecanismo para transmitir o acionamento proveniente do atuador pneumático (Figura 11-a) para o sistema de estampagem, composto por um eixo (Figura 11-b) e pelo mecanismo (Figura 11-c). A montagem final do mecanismo de estampagem está ilustrada na Figura 11-d.

Figura 11 - Montagem do mecanismo de estampagem



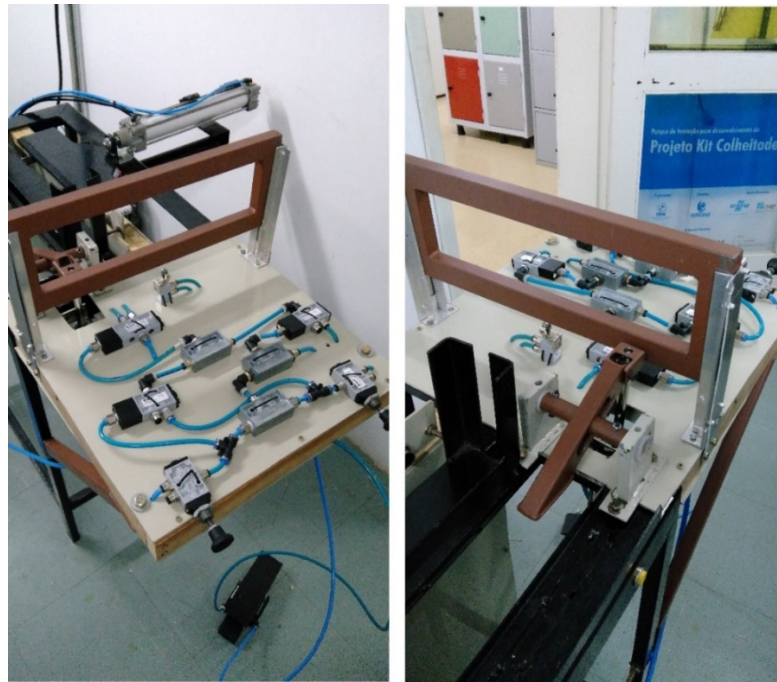
Fonte: autores do estudo.

4 RESULTADOS

Apresentam-se as etapas de testes e verificação dos resultados obtidos após a construção do protótipo do módulo didático de automação pneumática para a célula de manufatura.

Realizados no laboratório de projetos da universidade, os testes desenvolveram-se por meio de etapas que verificaram a funcionalidade do protótipo. Na Figura 12 está ilustrada a montagem final do protótipo, em dois ângulos diferentes.

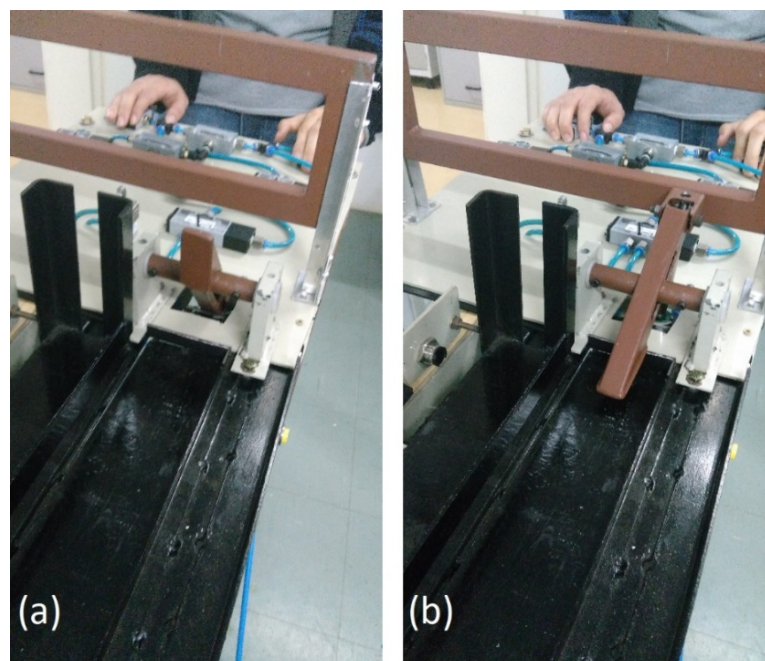
Figura 12 - Montagem do protótipo concluída



Fonte: autores do estudo.

Inicialmente testou-se o sistema de acionamento pneumático. Constatou-se que o mesmo realizou o acionamento conforme projetado (Figura 13). No detalhe, tem-se o sistema de estampagem antes do acionamento (Figura 13-a) e após o acionamento dos dois botões (Figura 13-b).

Figura 13 - Testes

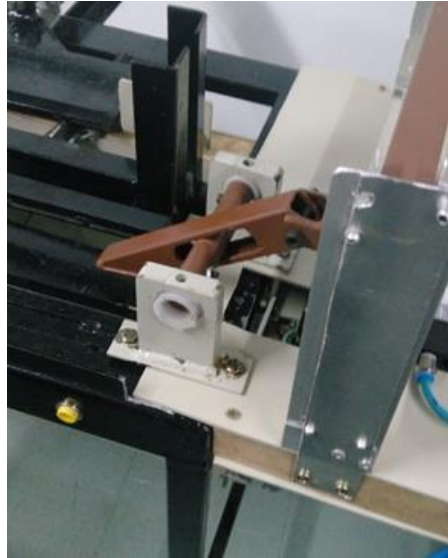


Fonte: autores do estudo.

Também foram realizados os testes para verificação das outras possibilidades de acionamento, apresentadas na Equação 3.

Após, foram realizados testes a fim de verificar a funcionalidade do mecanismo de estampagem (Figura 14). Constatou-se que o mesmo realizou a solicitação conforme projetado.

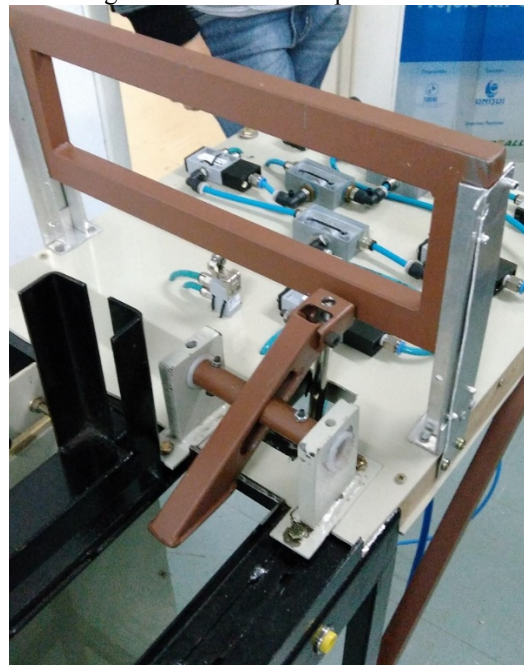
Figura 14 - Testes da funcionalidade do mecanismo de estampagem



Fonte: autores do estudo.

Foram realizados diversos testes para testar a repetibilidade do módulo após as melhorias, salienta-se que o mesmo teve o desempenho esperado, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Testes de repetibilidade



Fonte: autores do estudo.

CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento da automação industrial, evidencia-se a importância da automação a fim de evitar a exposição de trabalhadores a tarefas insalubres, além dos ganhos de produtividade. O trabalho apresentado mostra de maneira metodológica que a concepção de um sistema pneumático é capaz de atender os requisitos definidos.

A otimização do sistema de automação pneumática foi possível através da aplicação da álgebra booleana, de modo que possibilitou a redução do número de válvulas utilizadas através da substituição do método intuitivo por um método sistemático.

Conforme apresentado, seriam necessárias 9 (nove) combinações com 4 (quatro) válvulas cada, para o acionamento da máquina operatriz. Com a otimização possibilitada pela álgebra booleana, reduziu-se para 4 (quatro) combinações que cumprem as exigências de projeto. Tal ganho reflete num menor investimento em válvulas, e conseqüentemente, menor custo do sistema.

Os resultados mostram que através da otimização deste sistema é possível reduzir o custo com componentes numa aplicação de sistema de segurança para acionamento de máquinas operatrizes.

A proposta de uma concepção modular permite a alternância com possíveis futuros módulos que poderão ser construídos, bem como a alteração ou atualização do módulo descrito neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BOLLMANN, A. **Fundamentos da automação industrial pneumática. Projeto de Comandos Binários Eletropneumáticos**. São Paulo: Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, 1997.
- NULL, L. A. L. J. **Princípios Básicos de Arquitetura e Organização de Computadores**. 2. ed. [S.l.]: Bookman, 2010.
- SALIM, S. N. S. et al. Tracking performance and disturbance rejection of pneumatic actuator system. **9th Asian Control Conf.**, 2013. 1-6.
- TASSA, Y. et al. Modeling and identification of pneumatic actuators. **IEEE International Conference Mecha-tronics and Automation**, 2013.
- VALDIERO, A. C. et al. Development of a Pneumatically Driven Cell for Low Cost Automation. **Journal of Industrial Engineering**, 2016. 8.
- VALDIERO, A. C.; RASIA, L. A. Gestão de projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos mecatrônicos. In: VALDIERO, A. C.; THESING, N. J. **Desafios em Engenharia Industrial**. Ijuí: UNIJUÍ, v. 1, 2016. Cap. 2, p. 89-106.