

ANÁLISE COMPARATIVA E FINANCEIRA ENTRE OS MÉTODOS INTUITIVO E ESTRUTURADOS PARA PROJETOS PNEUMÁTICOS

Amanda Kélvia de Lima Freitas, amandkelvi@gmail.com¹

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Fortaleza, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE

Resumo: As empresas estão inseridas em um mercado bastante competitivo e investimentos mal planejados sempre representam algum tipo de risco. Com a finalidade de verificar qual solução é a mais rentável economicamente, esse estudo analisou quatro soluções pneumáticas para uma máquina estampadeira semiautomática, utilizando os métodos intuitivo, passo a passo, cascata sem otimização e cascata otimizado. Após evidenciar a estrutura para desenvolver cada solução foi realizado uma análise comparativa técnica entre as soluções. O resultado deste estudo, encontrou que a versão da máquina que utiliza o método cascata otimizado, oferece a melhor relação custo-benefício e que os orçamentos das outras versões podem gerar um acréscimo de, em média, vinte e quatro por cento.

Palavras-chave: Sistemas pneumáticos, Otimização de projetos, Análise custo-benefício

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a International Organization for Standardization (2008) o termo pneumática refere-se à ciência e à tecnologia que trata do uso do ar ou gases neutros como meio de transmissão de potência.

Segundo Bollmann (1997) o primeiro relato sobre a utilização do ar para transmissão de energia remonta ao terceiro século antes de Cristo. A primeira máquina conhecida a utilizar os princípios da pneumática foi projetada por Herão em 120 a.C. no Egito. Porém, apenas no século 17, foi registrada a primeira patente do que seria uma máquina a vapor funcional pelo mecânico Thomas Savery (1650-1715) e a partir daí, o estudo dos seus princípios e comportamentos se tornou persistente e a pneumática passou a fazer parte do meio industrial. Desde então, a busca por sistemas cada vez mais eficientes, otimizados e com melhor custo-benefício cresceu significativamente e atualmente os sistemas pneumáticos estão avançando cada vez mais em sua tecnologia.

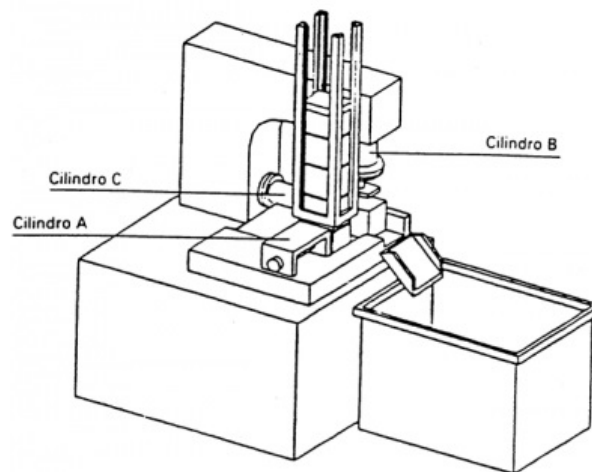
Existe uma infinidade de meios em que a pneumática pode ser aplicada, tais como: acionamento de portas de ônibus e metrô, prensas pneumáticas, parafusadeira, fixação de peças em máquinas, pintura e etc. Pode-se perceber, então, que a pneumática pode oferecer uma série de componentes otimizados, compactos, resistentes, de fácil manipulação, montagem e manutenção Prudente (2013).

Algumas metodologias de desenvolvimento de projetos foram criadas com a finalidade de facilitar o entendimento, desenvolvimento de projetos e para garantir a sua correta funcionalidade. Dentre eles estão o método intuitivo, o método passo a passo, o método cascata sem otimização e o método cascata com otimização.

Nesse contexto, o que se pretende com esse artigo é comparar os custos aproximados de implementação de quatro soluções pneumáticas de uma máquina estampadeira semiautomática de peças, utilizando os métodos intuitivo e estruturados, bem como, realizar uma análise comparativa entre as soluções. Embora existam diversos programas de simulação de circuitos pneumáticos, foi utilizada a versão demo de um programa de simulação de circuitos pneumáticos com a finalidade de obter percepções de desempenho do processo de desenvolvimento, além de permitir alterações do projeto a fim de torná-los economicamente mais acessíveis.

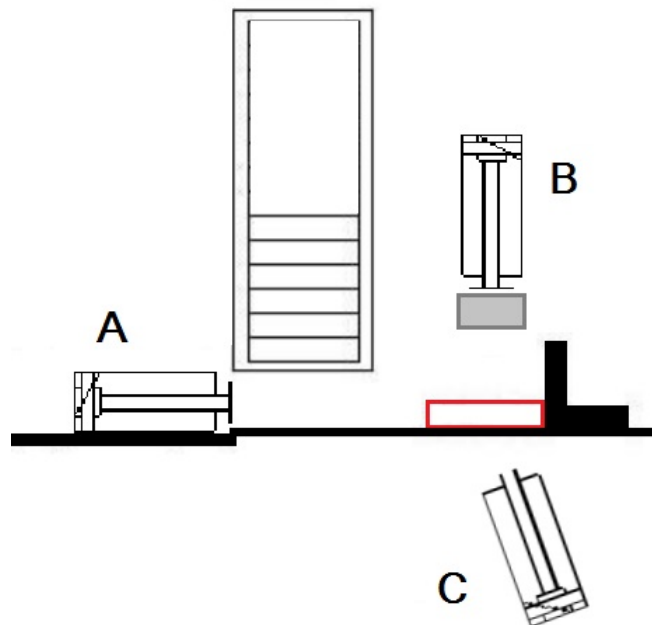
2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Considerando um projeto empírico de uma estampadeira ilustrada na Fig. 1, com três cilindros pneumáticos de dupla ação A, B e C e cujo o funcionamento é representado pela sequência algébrica $A + B + B - A - C + C -$, onde as letras indicam os atuadores e os sinais "+" e "-" indicam avanço e retorno, respectivamente. Na Fig. 2 pode-se observar a representação dos posicionamentos e funções dos cilindros pneumáticos da máquina estampadora, sendo o cilindro de alimentação e fixação "A", estampagem "B" e expulsão da peça "C".



Fonte: Ortiz (2013).

Figura 1: **Máquina estampadora semiautomática de peças.**



Fonte: Autor

Figura 2: **Representação algébrica do processo.**

Os atuadores funcionam conforme a sequência: O cilindro A avança (A +), alimentando a máquina e posiciona a peça para estampagem; O cilindro B avança (B +) e estampa a peça; O cilindro B recua (B -); O cilindro A recua (A -) liberando a peça; O cilindro C avança (C +) e retira a peça da estampadeira; O cilindro C recua (C -), retornando à posição inicial e encerrando o ciclo; Adiante serão descritos quatro circuitos, no qual cada um utiliza um dos métodos de confecção de circuito pneumático: método intuitivo, método cascata sem otimização, método cascata com otimização e método passo-a-passo.

2.1 Método intuitivo

Esta técnica consiste na escolha dos elementos lógicos e das suas interligações baseando-se na experiência, em exemplos e em correções por tentativas e erros. Para um mesmo problema, podem resultar diversas soluções intuitivas, mais simples ou mais complexas, dependendo muito do projetista. A quantidade de elementos utilizados depende da experiência de quem está projetando, por isso esse método pode ser sinônimo de economia ou trazer mais custos. Esse método deixa a desejar quanto a confiabilidade, porque à medida que cresce o seu grau de complexidade as chances de ocorrer de sinais pneumáticos são grandes. Para Fialho (2011) na prática industrial, geralmente é aplicado mais de um atuador, ou ainda podem existir condições específicas para o acionamento dos atuadores, e por isso o método intuitivo não mais responde com excelência, pois pode virar um método de tentativas.

2.2 Método Passo a Passo

O método passo a passo (sequência máxima) é outra técnica de elaboração de circuitos pneumáticos, cuja função é evitar que a sobreposição de sinais interfira na sequência operacional do sistema. Ao contrário do método cascata, que apresenta certa complexidade na construção do circuito, a técnica de comando passo a passo facilita em muito o trabalho do projetista, pois a elaboração do circuito torna-se puramente mecânica em virtude da utilização de regras simples (Moreira, 2012). Assim, este método propõe uma solução rápida e segura para montar circuitos pneumáticos, pois consiste no agrupamento dos movimentos e na utilização de válvulas biestáveis de 3/2vias para acionar cada passo. Isto garante, caso ocorra algum erro ou um elemento do circuito não seja acionado, que a sequência seja interrompida, pois a ligação de um elemento só ocorre após a confirmação do movimento antecessor ter ocorrido.

2.3 Método Cascata sem otimização

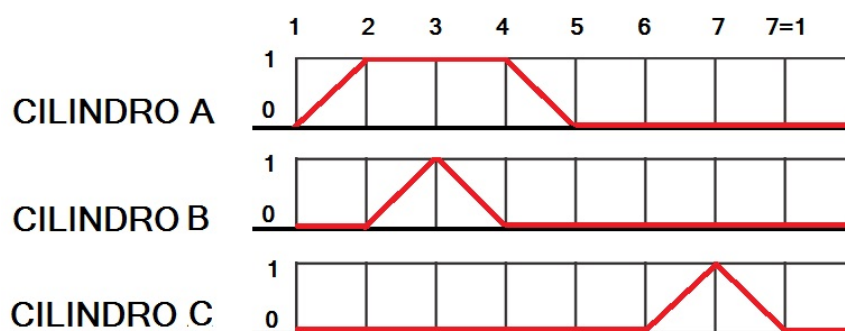
Um bom número de circuitos pneumáticos são montados intuitivamente, porém para circuitos maiores é recomendável utilizar o método cascata (sequência mínima), pois este é visto como uma forma simples, fácil e segura de montar circuitos. Este método fornece uma maneira padrão para resolver qualquer sequência utilizando o mínimo de válvulas. Esta técnica se dá pelo agrupamento dos passos, de modo que cada grupo seja composto de movimentos sequencialmente vizinhos e de cilindros diferentes. Para Turner (1996) o método de cascata consiste em ligar e desligar o ar de alimentação das válvulas de acionamento de grupos. O termo cascata diz a respeito as ligações das válvulas biestáveis (memória), que são em série e desta forma garantem alimentação de ar em apenas uma saída.

2.4 Método Cascata com otimização

A otimização do método cascata se dá no último grupo da sequência; se o último movimento não é oposto aos movimentos do primeiro grupo, isto é, se este movimento não tem letras iguais e sinais algébricos opostos ao do primeiro grupo, pode-se realocar este trajeto para o primeiro agrupamento, reduzindo assim o número de linhas e de válvulas.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Inicialmente, são expostas as resoluções para as simulações da máquina estampadora de peças nas quatro versões e os equipamentos requeridos em cada montagem. Posteriormente, são apresentados os orçamentos de três fornecedores e a partir daí é realizada algumas comparações entre os métodos a fim de verificar qual solução tem a maior relação custo-benefício. Os resultados descritos desprezam os elementos pneumáticos que são repetidos em todas as versões simuladas, tais como: filtro de ar, conexões, mangueiras etc. A Fig. 3 apresenta o diagrama trajeto-Passo da sequência de comando $A + B + B - A - C + C -$.



Fonte: Autor

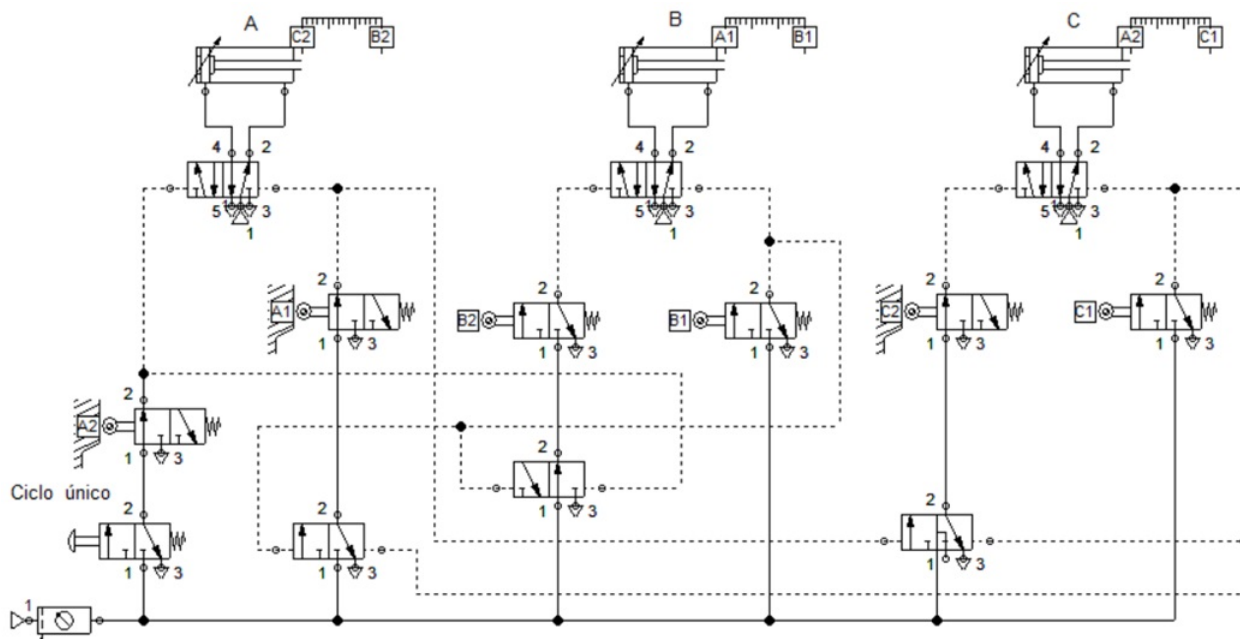
Figura 3: Diagrama trajeto-passo da máquina de estampagem.

A seguir são descritos quatro esquemas pneumáticos, um para cada versão da máquina. Todos os circuitos pneumáticos foram projetados para operar em ciclo único e foram simulados na versão demo de um programa de simulação de circuitos pneumáticos.

3.1 Método Intuitivo

A sequência do circuito pneumático apresentada na Fig. 3, pode ser classificada como sequência indireta, já que os movimentos de avanço possuem sequência de avanço diferentes do recuo. As sequências indiretas quando resolvidas pelo método intuitivo, geralmente, apresentam sobreposição de sinais de comando em um ou mais passos, fazendo com que nesse caso a válvula de comando não comute, o que gera uma parada inesperada da sequência. Para resolver esse problema intuitivamente, foram acrescentadas válvulas para evitar sobreposição de sinais. A Fig. 4 apresenta o circuito pneumático utilizando o método intuitivo com válvula de corte (3/2 vias, NF e NA, duplo piloto positivo), de forma a evitar sobreposição de sinais (conflito de sinais) e atende ao ciclo pneumático dado pelo diagrama trajeto-passo apresentado na

Fig. 3. No circuito intuitivo, a sequência com ciclo único é acionada por meio de um botão mola. Para construir essa sequência são necessários três cilindros de dupla ação, três válvulas 5/2 vias com duplo piloto positivo e dez válvulas 3/2 vias com diversas formas de acionamento e configurações.

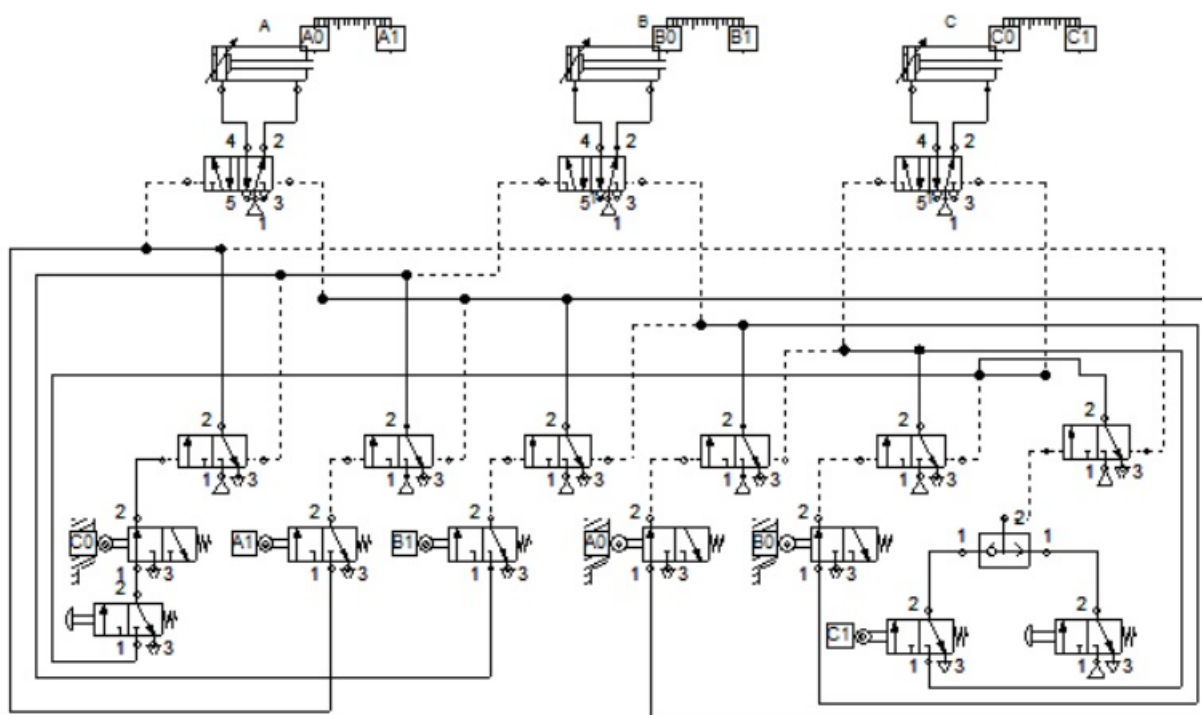


Fonte: Autor

Figura 4: Circuito pneumático empregando o método intuitivo

3.2 Método Passo a Passo

Para projetar a solução com o método passo a passo (Fig. 5), utilizando o ciclo pneumático A + B + B - A - C + C -, deve-se iniciar o procedimento agrupando os movimentos em grupos, ou seja, cada movimento é alocado em um grupo. Desta forma, o grupo um contém o movimento A +, o grupo dois contém o movimento B + e assim sucessivamente até que o grupo seis, o qual contém o último movimento (C -).



Fonte: Autor

Figura 5: Circuito pneumático empregando o método passo a passo

Conforme a Fig. 5, o acionamento deste circuito utilizando o método passo a passo é estabelecido quando acionado

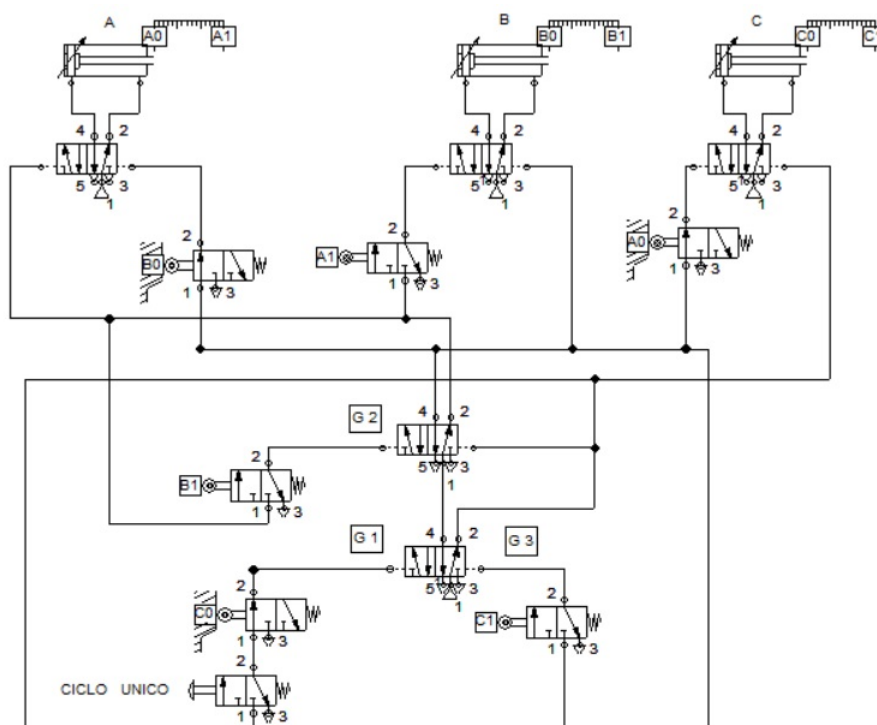
dois botões: um botão mola para habilitar a sequência e o outro botão irá dar partida no circuito no modo ciclo único. Nesta solução, o último grupo deve ser pressurizado para que o sistema inicie. Para construir essa sequência foram utilizados neste projeto três cilindros de dupla ação, três válvulas 5/2 vias, quatorze válvulas 3/2 vias e uma válvula alternadora.

3.3 Método Cascata

A partir do diagrama trajeto-passo e das regras do método cascata, foram elaborados dois circuitos pneumáticos utilizando o método cascata, sendo um utilizando o método padrão (sem otimização) e o outro com o método otimizado, conforme ilustrado na Fig. 6 e Fig. 7. Na divisão de grupos do método cascata os movimentos de cilindros pneumáticos podem ser alocados no mesmo grupo desde que não ocorram movimentos opostos do mesmo cilindro. Segundo Vasconcelos *et al.* (2015) para processos automatizados com ciclo único, o método cascata é o mais indicado, pois evita erros de sobreposição de válvulas. Ela ainda afirma que a construção pelo método intuitivo pode indicar utilização de válvulas adicionais indesejadas e excessivas no processo e consequentemente tornar o circuito de difícil compreensão e elevará o custo do processo.

3.4 Sem otimização

Considerando a regra na qual se subdivide a sequência do circuito pneumático em grupos, os grupos de comando são os seguintes: grupo um contém o trajeto A + e B +, o grupo dois contém os movimentos B - A - C +. O último grupo, contém o trajeto C -.

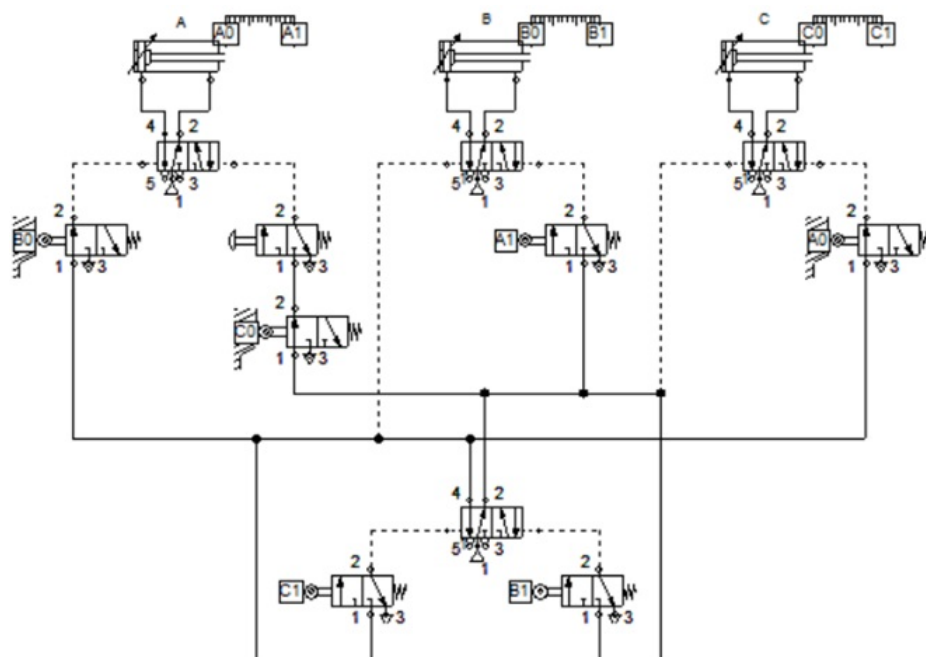


Fonte: Autor

Figura 6: Circuito pneumático empregando o método cascata sem otimização.

Nesta solução são necessárias três linhas de grupo e duas válvulas biestáveis que correspondem ao número de grupos menos um. Com base no esquema da Fig. 6, quando o botão é pressionado, a máquina é acionada em ciclo único. Para esta versão foram utilizados três cilindros de dupla ação, cinco válvulas 5/2 vias e sete válvulas 3/2 vias.

Para se projetar um circuito pneumático pelo método cascata Otimizado deve-se analisar a sequência de funcionamento da máquina. De acordo com a regra, caso o último movimento não seja movimento oposto dos demais cilindros do primeiro grupo, o mesmo poderá ser alocado no mesmo grupo. Assim, o grupo um ficou com os trajetos C - A + B + e o segundo com o restante da sequência, que são os trajetos B - A - C +. A Fig. 7 apresenta a versão do esquema pneumático método cascata otimizado para a máquina de estampagem. A máquina inicia o ciclo único ao pressionar o botão 3/2 vias, NF retorno por mola. Para a construção dessa versão, os materiais utilizados no projeto são: três cilindros de dupla ação, quatro válvulas 5/2 vias e sete válvulas 3/2 vias.

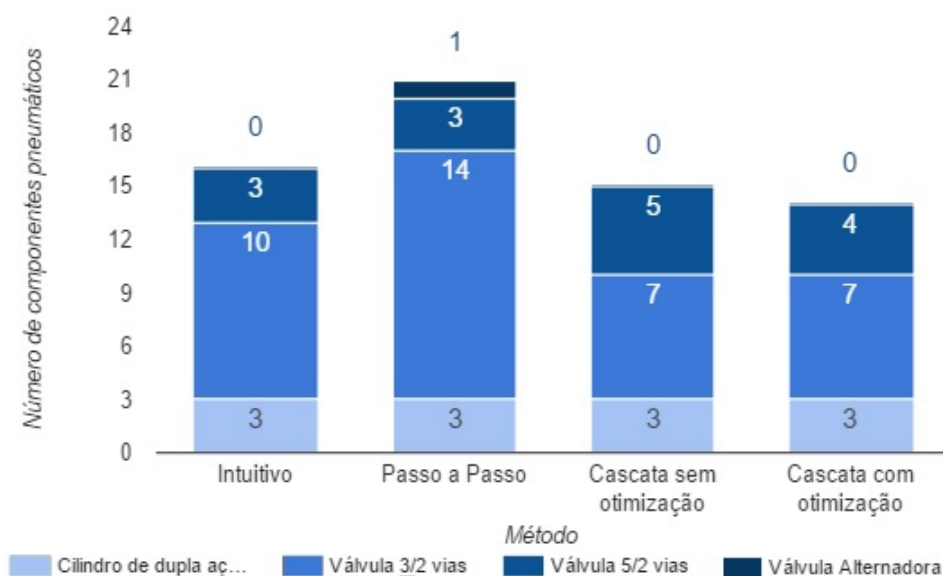


Fonte: Autor

Figura 7: Circuito pneumático empregando o método cascata otimizado

3.5 Análise de custo

No gráfico da Fig. 8 é apresentada a relação de materiais pneumáticos necessários em cada versão de esquema pneumático da máquina de estampagem.

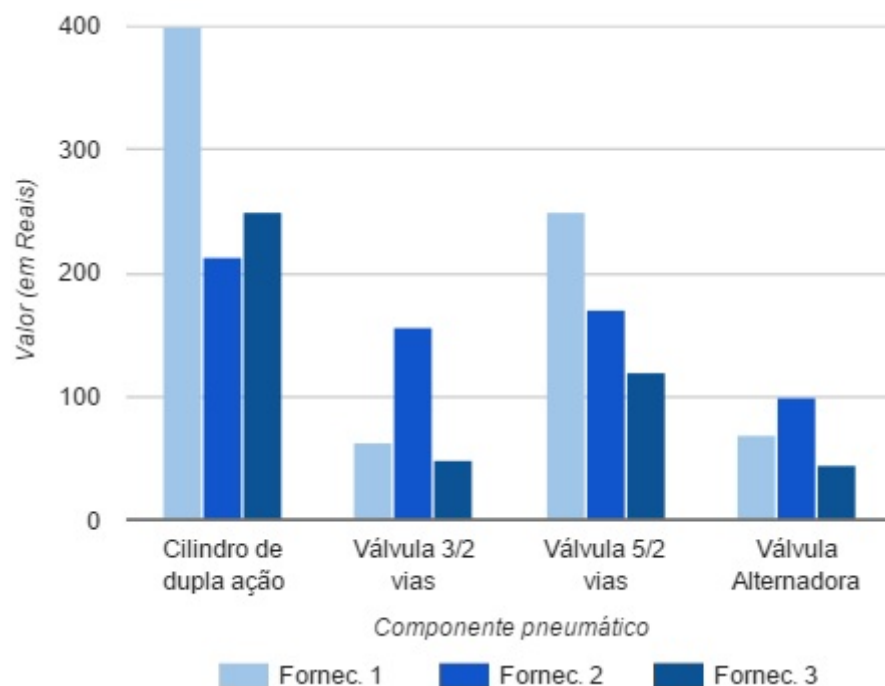


Fonte: Autor

Figura 8: Gráfico comparativo da quantidade de componentes pneumáticos

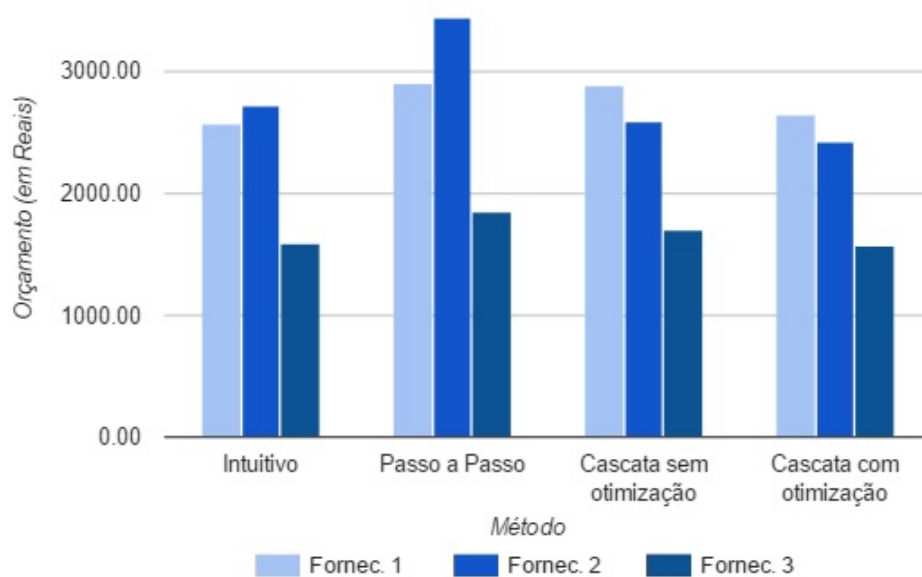
Ao observar a Fig. 8 percebe-se que a versão cascata otimizada da máquina de estampagem tem o menor número de componentes pneumáticos e que a versão passo a passo eleva, e muito, o número de componentes se comparado às outras versões da máquina.

A Fig. 9 e Fig. 10 apresentam os gráficos de comparação entre os valores unitários de cada componente pneumático por fornecedor e os valores orçamentais de três fornecedores para cada versão da máquina em questão, respectivamente.



Fonte: Autor

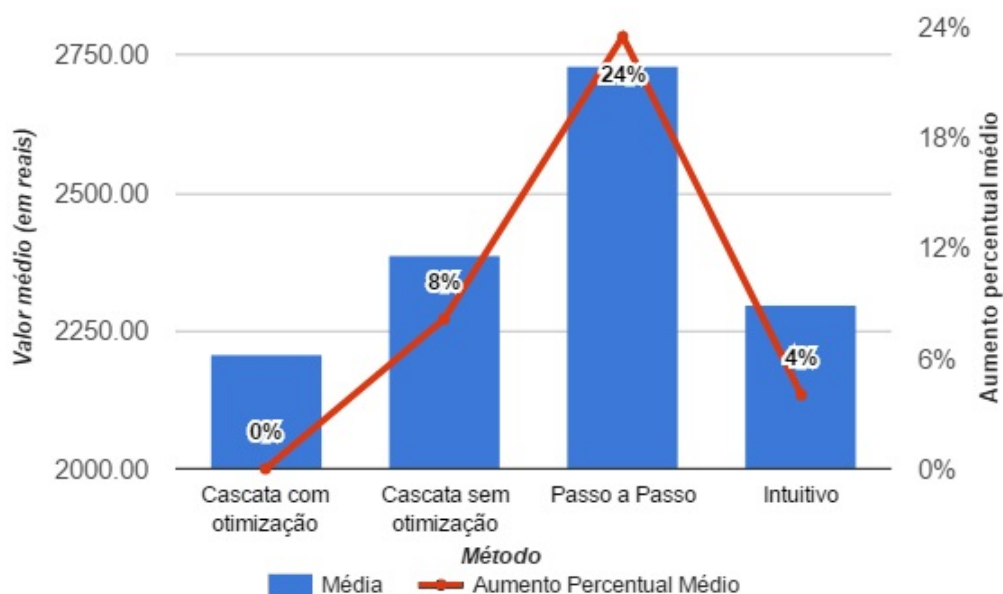
Figura 9: Gráfico comparativo de preço dos fornecedores.



Fonte: Autor

Figura 10: Gráfico comparativo de fornecedores e métodos.

Considerando a Fig. 9, pode-se dizer que o fornecedor três oferece o orçamento mais viável, pois possui os menores preços unitários de cada componente em relação aos outros fornecedores. Já analisando a Fig. 10, nota-se que a versão do método cascata otimizado em função do orçamento do fornecedor três, apresenta a melhor relação custo-benefício. A Fig. 11 apresenta a média aritmética dos orçamentos para cada versão de esquema pneumático da máquina.



Fonte: Autor

Figura 11: Gráfico da média aritmética dos orçamentos, para cada versão da máquina.

Levando em conta o método cascata com otimização como parâmetro de comparação, foi constatado que, em média, os outros orçamentos aumentam em até 24%. Este valor pode ser ainda maior dependendo do grau de instrução e familiarização do técnico com resolução de circuitos pneumáticos.

4. CONCLUSÃO

As versões passo a passo e cascata foram projetadas facilmente de forma mecânica, em virtude da utilização das particularidades e regras. De uma forma geral, técnicos menos experientes podem encontrar dificuldades em desenvolver sistemas utilizando esses métodos em virtude da compreensão das regras e então o método intuitivo pode se mostrar como uma melhor opção.

Os objetivos propostos nesse artigo foram atendidos. As quatro versões da máquina foram simulados e atendem o ciclo de funcionamento proposto. Inicialmente, foi necessário avaliar as características de projeto para decidir qual método era o mais adequado, por conta das peculiaridades de cada um, e então, decidiu-se qual versão apresenta a melhor relação custo-benefício.

Segundo os resultados obtidos, a versão que apresentou o menor custo foi a máquina com esquema cascata otimizado, como recomendado por Vasconcelos *et al.* (2015). Este estudo indica que o método passo a passo apresenta a menor relação custo-benefício. Em média, este método custou cerca de 24% a mais em comparação ao método cascata otimizado. Embora o método intuitivo apresentou apenas um custo 4% maior do que o método cascata com otimização, este orçamento pode aumentar, consideravelmente, dependendo da intuição do projetista.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Hidráulica e Pneumática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, por fornecer a estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho, a família e amigos pelo apoio.

6. REFERÊNCIAS

- Bollmann, A., 1997. *Fundamentos da Automação Industrial Pneumática: projetos de comandos binários eletropneumáticos*. ABHP-SP, São Paulo. 278 p.
- Fialho, A.B., 2011. *Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. Érica, São Paulo - SP, 7th edition. ISBN 9788571949614. 328 p.
- International Organization for Standardization, 2008. *Fluid power systems and components - Vocabulary*. Geneva Switzerland. (in press).
- Moreira, I.S., 2012. *Técnicas de Comando Pneumático*. SENAI-SP, 1st edition. ISBN 9788565418003. 222 p.
- Ortiz, F., 2013. "Proyecto de automatización máquina estampadora". Disponível em: <http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Ver_assignment_3>. Acesso em: 12 mar. 2017.
- Prudente, F., 2013. *Automação Industrial Pneumática: Teoria e aplicações*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro - RJ. ISBN 9788521621195. 280 p.
- Turner, E.I.C., 1996. *Engineering Applications of Pneumatics and Hydraulics*. Butterworth-Heinemann. ISBN 9780415502887. 169 p.

Vasconcelos, O.N., Machado, E., Paciello, J. e de Carvalho Vidal, L., 2015. “Análise comparativa entre os métodos “intuitivo” e “cascata” para resolução de problemas em pneumática”. *XII Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia*.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPARATIVE FINANTIAL ANALYSIS BETWEEN PNEUMATIC CIRCUIT DESIGN METHODS FOR PNEUMATIC PROJECTS

Amanda Kélvia de Lima Freitas, amandkelvi@gmail.com¹

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Fortaleza, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE

Resumo: *Companies are inserted in a very competitive market and not properly planned investments always represent some kind of risk. In order to verify which solution offers the best cost-effective option, this study analyzed four pneumatic solutions for a semiautomatic stamping machine using the intuitive, the step-counter and the cascade methods. After demonstrating the structure to develop each solution, a technical comparative analysis was performed between the solutions. The result of this study found that the version of the machine that uses the optimized cascade method offers the best cost-benefit ratio, and also, that other versions could incur extra costs, on average, twenty-four percent.*

Palavras-chave: *Pneumatic systems, Optimization of designs, Cost effective analysis)*