

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

FÁBIO HENRIQUE DA COSTA SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE CIRCUITOS ELETROPNEUMÁTICOS EM
LABORATÓRIO DO NUTENGE-UEMA**

São Luís

2015

FÁBIO HENRIQUE DA COSTA SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE CIRCUITOS ELETROPNEUMÁTICOS EM
LABORATÓRIO DO NUTENGE-UEMA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes.

São Luís

2015

FÁBIO HENRIQUE DA COSTA SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE CIRCUITOS ELETROPNEUMÁTICOS EM
LABORATÓRIO DO NUTENGE-UEMA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ___/___/2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Valdirson Pereira Mendes (Orientador)

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção - UEMA

Prof. Me. Louryval Coelho Paixão (1º Examinador)

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção - UEMA

Prof. Me. Paulino Cutrim Martins (2º Examinador)

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção - UEMA

Dedico este trabalho aos meus queridos familiares, em especial ao meu grande mestre e pai e a minha grandiosa mãe, tudo isso é graças a vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço de maneira infinita ao meu pai e minha mãe, por terem me dado todo o apoio e estrutura necessários para que eu pudesse iniciar e encerrar minha graduação. Devo a eles por tudo que eu sou, pois me ensinaram a ter caráter, honestidade, e que devemos trabalhar muito para conseguir aquilo que queremos. Todas as vitórias da minha vida eu dedico e sempre dedicarei a eles.

Obrigado, a minha namorada Drielle Bittencourt, por ter me dado muito apoio e me incentivado muito no decorrer do curso. Sempre não permitindo que eu me desse por vencido nos momentos mais difíceis, não só na graduação como em muitos outros momentos da vida. Obrigado por tudo.

Meus agradecimentos aos amigos e irmãos na amizade, que fizeram parte da minha formação e que irão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais, sem nominar, terão os meus eternos agradecimentos.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração.

RESUMO

Este trabalho tem como foco a implementação de circuitos de automação eletropneumática a nível didático no laboratório de pneumática do NUTENGE-UEMA. Foi feito uso do software de simulação pneumática FLUIDSIM para analisarmos o funcionamento dos circuitos antes de elaborá-los de forma física nos painéis do laboratório e também como um meio de estudar possíveis modificações a fim de aumentar a eficiência do sistema. Devido à diversidade de aplicações de sistemas de automatização por meio da pneumática com auxílio da elétrica, se faz grande a importância da realização deste trabalho, visto que será um benefício agregado ao laboratório, pois futuros alunos e professores poderão usufruir de aulas práticas fazendo uso de tais circuitos.

Palavras-chave: Eletropneumática. FluidSim. Laboratório. Circuitos.

ABSTRACT

This work focuses on the implementation of electro-pneumatic automation circuits the educational level in the pneumatic laboratory NUTENGE-UEMA. We will use the pneumatic simulation software FLUIDSIM to analyze the operation of the circuit before developing them in physical form of the panels in the laboratory and also as a means of studying possible modifications in order to increase system efficiency. Because of diversity automation systems applications through the air with the aid of electricity, it is great the importance of this work, as it will be an added benefit to the laboratory, for prospective students and teachers can make use of practical classes making use such circuits.

Keywords: Electro pneumatic; FluidSIM; Laboratory; Circuits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Processamento de ar comprimido.....	17
Figura 02- Compressibilidade e elasticidade do ar.....	19
Figura 03- Tabela de classes de qualidade do ar.....	21
Figura 04- Geração, tratamento e distribuição do ar comprimido.....	21
Figura 05- Compressor de ar.....	23
Figura 06- Compressor de êmbolo monoestágio e multi-estágio.....	24
Figura 07- Compressor de membrana.....	25
Figura 08- Compressor de palhetas.....	25
Figura 09- Compressor de parafuso.....	26
Figura 10- Compressor Roots.....	27
Figura 11- Atuador pneumático linear (cilindro).....	29
Figura 12- Motor pneumático.....	30
Figura 13- Cilindros simples ação.....	30
Figura 14- Cilindro dupla ação.....	31
Figura 15- Cilindro dupla ação com haste passante.....	32
Figura 16- Cilindro dupla ação duplex.....	33
Figura 17- Acionamentos de válvulas direcionais.....	34
Figura 18- Resumo das válvulas direcionais.....	34
Figura 19- Válvula de retenção.....	35
Figura 20- Válvula alternadora.....	35
Figura 21- Válvula reguladora de fluxo.....	36
Figura 22- Esquema de comandos elétricos- Partida de motor trifásico.....	38
Figura 23- Tipos de botoeiras.....	39
Figura 24- Significado e aplicação.....	40
Figura 25- Simbologia.....	41
Figura 26- Simbologia.....	42

Figura 27- Circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro simples ação..	43
Figura 28- Circuito eletropneumático acionado.....	44
Figura 29- Ensaio 01.....	45
Figura 30- Ensaio 01 na bancada.....	46
Figura 31- Atuador e eletroválvula.....	46
Figura 32- Ensaio 01.....	47
Figura 33- Circuito Ensaio 02.....	48
Figura 34- Ensaio 02.....	49
Figura 35- Comando Elétrico, duas botoeiras.....	50
Figura 36- Ensaio 03, desacionado	50
Figura 37- Ensaio 03, circuito acionado.....	51
Figura 38- Ensaio 03, circuito prático.....	52
Figura 39- Ensaio 03, comando elétrico.....	52
Figura 40- Ensaio 04, circuito desacionado.....	53
Figura 41- Ensaio 04, circuito acionado.....	54
Figura 42- Ensaio 04, circuito prático.....	55
Figura 43- Ensaio 04, comando do relê.....	55
Figura 44- Ensaio 05, circuito desacionado.....	56
Figura 45- Ensaio 05, circuito acionado.....	57
Figura 46- Ensaio 05, circuito prático.....	58
Figura 47- Ensaio 05, desacionado.....	58
Figura 48- Ensaio 05, acionado.....	59
Figura 49-: Ensaio 05, circuito prático.....	60
Figura 50- Ensaio 6, circuito desacionado.....	61
Figura 51- Ensaio 6, circuito acionado.....	61
Figura 52- Sensor acoplado ao cilindro.....	62
Figura 53- Ensaio 6,prática.....	63

Figura 54- Circuito de comando elétrico.....	64
Figura 54- Ensaio 07, circuito desacionado.....	65
Figura 54- Ensaio 07, circuito acionado.....	66
Figura 54- Circuito 07 montado.....	67
Figura 54- Ligação elétrica, circuito 07.....	68
Figura 54- Vista geral do circuito 07.....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contexto	14
1.1.1 Eletropneumática	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Problema	15
1.4 Hipótese	16
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivo Geral.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
1.6 Metodologia	17
1.7 Estrutura Do Trabalho	17
2 SISTEMAS PNEUMÁTICOS	18
2.1 Vantagens da Implantação Da Automação Pneumática	19
2.2 Limitações da Implantação da Automação Pneumática	20
2.3 Propriedades Físicas do Ar	21
2.3.1 Compressibilidade	21
2.3.2 Elasticidade.....	21
2.3.3 Difusibilidade	22
2.3.4 Expansibilidade	22
2.4 Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido	22

2.4.1	Qualidade do Ar Comprimido.....	22
2.4.2	Produção e Preparação do Ar Comprimido.....	23
2.5	Principais Componentes dos Sistemas Pneumáticos.....	25
2.5.1	Compressores	25
2.5.1.1	Compressor de Êmbolo	26
2.5.1.2	Compressor de palhetas	28
2.5.1.3	Compressor parafuso	28
2.5.1.4	Compressor roots.....	29
2.5.2	Secadores	30
2.5.3	Tubos de transmissão	30
2.5.4	Filtros de ar	30
2.5.5	Lubrificadores	31
2.5.6	Atuadores	31
2.5.6.1	Tipos de cilindros pneumáticos.	32
2.5.6.2	Cilindro simples efeito ou ação.....	32
2.5.6.3	Cilindro duplo efeito ou dupla ação.....	33
2.5.6.4	Cilindro de haste dupla ou passante.....	33
2.5.6.5	Cilindro duplex ou tandem.....	34
2.5.7	Válvulas pneumáticas.....	34
2.5.7.1	Classificação das válvulas.....	35
2.5.7.1.1	Válvulas de controle direcional.....	35
2.5.7.1.2	Válvulas de bloqueio (anti-retorno).....	36

2.5.7.1.3	Válvulas alternadoras.....	37
2.5.7.1.3	Válvulas reguladoras de fluxo	37
3	COMANDOS ELÉTRICOS E SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES.....	38
3.1	Tensão elétrica	39
3.2	Corrente elétrica.....	39
3.3	Resistência elétrica	40
3.4	Botoeiras e chaves de comando	40
3.5	Solenóides elétricos.....	43
3.6	Circuitos eletropneumaticos.....	45
3.6.1	Circuito eletropneumático simples.....	45
4	MONTAGEM E ANÁLISE DOS CIRCUITOS	46
4.1	Ensaio 01	47
4.2	Ensaio 02	49
4.3	Ensaio 03.....	51
4.4	Ensaio 04	54
4.5	Ensaio 05	57
4.6	Ensaio 06	61
4.7	Ensaio 07	65
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
5.1	Sugestão para trabalhos Futuros.....	70
6.	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

1.1.1 Eletropneumática

Com a crescente demanda por rapidez, qualidade e precisão na produção de máquinas e equipamentos nos setores industriais em geral, vemos cada vez mais presente a necessidade da utilização de sistemas automatizados, que, proporciona uma maior agilidade na fabricação e manutenção de equipamentos e produtos em geral, em vista disso, é considerada uma importante aliada da otimização do desempenho dos colaboradores, pois por meio da tecnologia são concebidos indicadores que auxiliam a gestão, acelera processos e remove movimentos manuais dispensáveis, garantindo a redução de tarefas que não sejam ergonomicamente aceitáveis e que não geram valor aos produtos. Sendo assim, automatizar processos descentraliza tarefas, proporciona a autonomia do colaborador contribuindo para a obtenção da eficácia na gestão. (OLIVEIRA, 2012)

Seguindo o avanço da tecnologia os sistemas de automatização pneumática, assim como outros sistemas como hidráulicos, mecânicos e elétricos, estão sempre passando por novas modificações e adequações a fim de facilitar o trabalho do homem. A eletropneumática surgiu da ideia de unir a eficácia e autonomia da eletricidade a sistemas pneumáticos convencionais, tornando seu acionamento mais rápido, prático e confiável. Segundo Santos & Silveira (1999, pg.01) “O controle, na escala tecnológica, assume papel primordial e decisivo dentre os modelos e processos existentes, sejam eles simples, modestos, robustos ou de extrema complexidade no plano de ações”.

Deste modo, trabalharemos neste projeto com a construção desses tipos de sistemas no laboratório de pneumática que se encontra no prédio NUTENGE na Universidade Estadual do Maranhão. Partiremos com a análise teórica das propriedades físicas do ar que são cruciais para entender o comportamento deste

elemento quando submetido a pressões elevadas ou até mesmo ao vácuo. Por meio de softwares realizaremos simulações dos circuitos em diferentes configurações, para seguidamente plotarmos os circuitos nos painéis do laboratório fazendo uso do maior número possível de componentes e modelos de circuitos diferentes, visando um maior aproveitamento didático por mim e pelos futuros companheiros que irão usufruir do laboratório.

1.2 Justificativa

A importância deste trabalho é incentivar a utilização dos laboratórios acadêmicos de maneira correta e construtiva, realizando pesquisas e projetos que buscam desenvolver a capacidade do aluno e o prestígio do curso e da Universidade. Trata-se de um trabalho voltado para o âmbito técnico-industrial, pois explanará alguns dos mais essenciais esquemas de circuitos automatizados por meio eletropneumático presentes nas pequenas e grandes indústrias. Através deste trabalho será possível que outros alunos venham usufruir desta nova interface entre a teoria e a prática, uma vez que alguns esquemas de circuitos ficarão disponíveis para estudo, agregando mais valor ao laboratório e às aulas ministradas em sala de aula.

1.3 Problema

- De que maneira será possível realizar a correta instalação dos circuitos eletropneumáticos?
- Como utilizar o *software* para projetar e simular o funcionamento das atividades?
- De que forma esse trabalho trará benefícios para futuros pesquisadores e alunos que venham a usar o laboratório como objeto de trabalho?

1.4 Hipótese

Serão utilizados como material de consulta e apoio, manuais e catálogos de fabricantes como: FESTO e PARKER, visando o correto dimensionamento e instalação de todos os componentes em questão.

Para realizar a simulação dos circuitos, usaremos o software “*FluidSim Pneumatics*”, sendo ele uma referência para estudantes e profissionais para este tipo de atividade.

Alunos, pesquisadores e professores terão a vantagem de utilizar deste trabalho para realizar novas pesquisas, testes e aulas práticas, visto que ficarão instalados no laboratório alguns circuitos exatamente para esse fim.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Projetar, simular e construir alguns dos principais modelos de circuitos eletropneumáticos vistos no chão de fábrica, máquinas, equipamentos, etc. Na intenção também de implementar o laboratório de pneumática com mais esse tipo de objeto de estudo em aulas práticas.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Ligar teoria e prática de alguns sistemas eletropneumáticos; já utilizados em grandes indústrias e fábricas;
- Mostrar como se projeta e simula circuitos eletropneumáticos no FluidSim;
- Utilizar correta e seguramente instalações pneumáticas;
- Construir circuitos eletropneumáticos;
- Especificar válvulas e atuadores;
- Fazer alusão ao correto tratamento de ar comprimido;

- Ilustrar, por meio de software, como se dão as principais instalações eletropneumáticas automatizadas.

1.6 Metodologia

O trabalho se dará por meio da consulta à literatura incluindo catálogos e tabelas de fabricantes, visando fazer uma exata seleção dos componentes e métodos para a realização de um trabalho seguro e de qualidade. Será ainda utilizado em tempo integral o software de construção e simulação de projetos pneumáticos, FluidSim, para que seja possível sempre realizar alguns testes antes de partirmos para parte de montagem na bancada.

A cada etapa concluída, será feito registro de fotos e coleta de dados para análise e diagnóstico. Caso algum circuito não atenda às expectativas de funcionamento, será feita uma consulta ao programa e logo após, realizadas as devidas modificações. O trabalho se completará assim que todos os circuitos propostos estiverem devidamente completos e com funcionamento de acordo.

1.7 Estrutura Do Trabalho

No capítulo 1, é apresentado o contexto atual da eletropneumática e sua importância no setor industrial.

No capítulo 2, vê-se o embasamento teórico do sistema pneumático, fazendo-se alusão a seus principais componentes e maneiras de funcionamento.

No capítulo 3, mostraremos como se caracteriza o sistema de comandos elétricos básicos bem como seus principais componentes de acionamento.

No capítulo 4, trabalharemos com o desenvolvimento dos circuitos eletropneumáticos, juntando paralelamente a parte de simulação no software FluidSim e a parte prática de construção dos projetos na bancada do laboratório.

No capítulo 5, por fim, chegaremos aos resultados e considerações finais.

2 SISTEMAS PNEUMÁTICOS

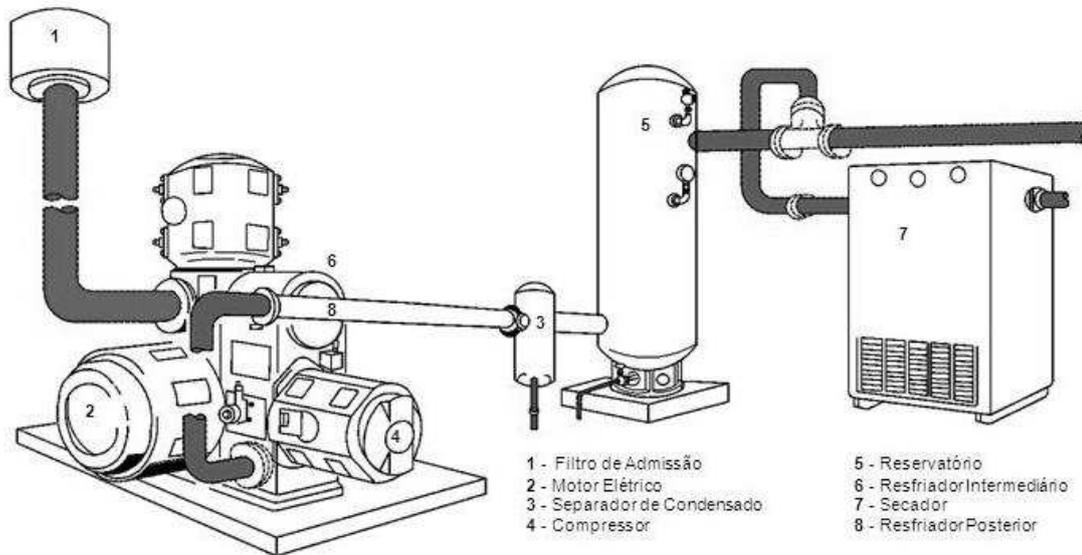
Para Hasebrink (2010, pg.9), “Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando.” Na verdade o uso do ar comprimido como fonte de energia pelo homem data de 2550 A.C. Nessa época eram fabricados foles e órgãos que essencialmente geram sons baseado no escoamento do ar sob pressão em tubos com furos. O ar comprimido era produzido por uma bomba acionada manualmente. No século XIX, surgiram as primeiras máquinas pneumáticas complexas, as locomotivas e perfuratrizes (nas minas de carvão). Na verdade, essas máquinas utilizavam vapor superaquecido e não ar comprimido propriamente dito, no entanto os princípios envolvidos no funcionamento são idênticos. No entanto, foi no século XX, que a pneumática passou a ser aplicada na automação industrial e se desenvolveu ao ponto que é conhecida hoje.

Atualmente existem várias aplicações da pneumática no meio industrial e mesmo na nossa vida diária. Entre alguns exemplos de aplicações atuais de pneumática podemos citar:

- Prensas pneumáticas;
- Dispositivos de fixação de peças em máquinas ferramenta e esteiras;
- Acionamento de portas de um ônibus urbano ou dos trens do metrô;
- Sistemas automatizados para alimentação de peças;
- Robôs industriais para aplicações que não exijam posicionamento preciso;
- Freios de caminhão;
- Parafusadeiras e lixadeiras;
- Broca de dentista;
- Pistola de pintura;
- Correio pneumático.

Um sistema é caracterizado por um conjunto de elementos que juntos exercem certa função pré-estabelecida. Assim, sistemas pneumáticos são sistemas que possuem elementos pneumáticos como: compressor, válvulas direcionais, atuadores, tubos, entre outros; e geralmente são utilizados para transmitir energia por meio do ar comprimido para elementos atuadores ao qual não necessitam de grandes esforços, pois trabalham a baixa pressão.

Figura 01: Processamento de ar comprimido.



Fonte: CTISM

2.1 Vantagens da Implantação Da Automação Pneumática

- a) Incremento da produção com investimentos relativamente pequenos.
- b) Redução de custos operacionais. A rapidez nos movimentos pneumáticos e liberação de operários de operações repetitivas possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, da produtividade e, portanto, um menor custo operacional.
- c) Robustez dos componentes pneumáticos. A robustez inerente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diversas seqüências de operação. São de fácil manutenção.
- d) Facilidade de implantação. Pequenas modificações nas máquinas convencionais aliadas à disponibilidade de ar comprimido são os requisitos necessários para a implantação dos controles pneumáticos.
 - e) Resistência a ambientes hostis. Poeira, atmosfera corrosiva, submersão em líquidos, raramente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para esta finalidade.

f) Simplicidade de manipulação. Os controles pneumáticos não necessitam de operários altamente especializados para a sua manipulação.

g) Segurança. Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, com pessoas e com o próprio equipamento, além de evitar problemas de explosão.

h) Redução do número de acidentes. A fadiga é um dos principais fatores que favorecem acidentes. A implantação de controles pneumáticos reduz o seu número, liberação de operações repetitivas (LER).

2.2 Limitações da Implantação da Automação Pneumática

a) O ar comprimido necessita de uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamentos e maiores desgastes nas partes móveis dos sistemas.

b) Os componentes pneumáticos são normalmente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Portanto, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operações de extrusão de metais.

Provavelmente, o seu uso seja vantajoso para recolher ou transportar as barras extrudadas.

c) Velocidades muito baixas são difíceis de serem obtidas com ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Nesse caso, recorrem-se sistemas mistos hidráulicos e pneumáticos.

d) O ar é um fluido altamente compressível, portanto, é difícil obterem-se paradas intermediárias e velocidades uniformes.

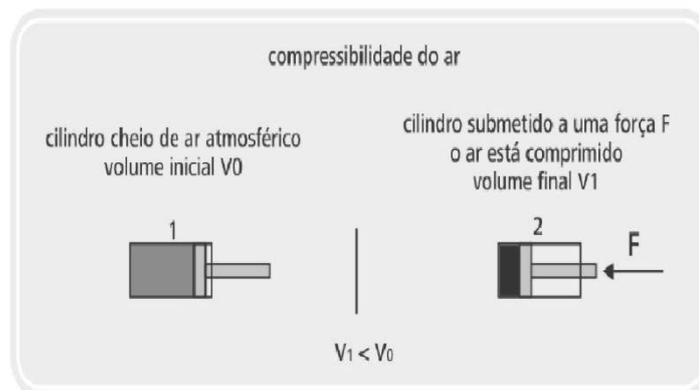
2.3 Propriedades Físicas do Ar

Apesar de insípido, inodoro e incolor, percebemos o ar através dos ventos, aviões e pássaros que nele flutuam e se movimentam; sentimos também o seu impacto sobre o nosso corpo. Concluimos que o ar tem existência real e concreta, ocupando lugar no espaço. (MEIXNER ; KLOBER,1977, p.).

2.3.1 Compressibilidade

O ar, assim como todos os gases, tem de ocupar todo o volume de qualquer Recipiente, adquirindo o seu formato, já que não tem forma própria. Assim, podemos encerrá-lo num recipiente com volume determinado e, posteriormente, provocar-lhe uma redução de volume, usando uma de suas propriedades – a compressibilidade.

Figura 2: Compressibilidade e elasticidade do ar.



Fonte: CTISM

Podemos concluir que o ar atmosférico permite reduzir o seu volume quando sujeito à ação de uma força exterior.

2.3.2 Elasticidade

Propriedade que possibilita ao ar voltar ao seu volume inicial, uma vez extinto o efeito (força) responsável pela redução do volume.

2.3.3 Difusibilidade

Propriedade do ar que lhe permite misturar-se homoganeamente com qualquer meio gasoso que não seja saturado.

2.3.4 Expansibilidade

Propriedade do ar que lhe possibilita ocupar totalmente o volume de qualquer recipiente, adquirindo o seu formato.

2.4 Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido

2.4.1 Qualidade do Ar Comprimido

Os equipamentos pneumáticos (principalmente as válvulas) são constituídos de mecanismos muito delicados e sensíveis e para que possam funcionar de modo confiável, com bom rendimento, é necessário assegurar determinadas exigências de qualidade do ar comprimido, entre elas:

- Pressão
- Vazão
- Teor de água
- Teor de partículas sólidas
- Teor de óleo

As grandezas de pressão e vazão estão relacionadas diretamente com a força e velocidade, respectivamente, do atuador pneumático. Cada componente pneumático tem sua especificação própria de pressão e vazão de operação. Para atender a essas especificações é necessário suficiente vazão no compressor, correta pressão na rede e tubulação de distribuição corretamente dimensionada em função da vazão. Já água, óleo e impurezas tem grande influência sobre a durabilidade e confiabilidade de componentes pneumáticos. O óleo em particular é usado para lubrificar os mecanismos dos sistemas pneumáticos. Dependendo da aplicação as exigências do ar com relação à água, óleo e impurezas são diferentes. A tabela mostra uma classificação do ar com relação a diferentes teores desses elementos.

Figura 03: Tabela de classes de qualidade do ar

TABELA DE CLASSES DE QUALIDADE DO AR , SEGUNDO ISO 8573-1			
Classe de qualidade	Sólidos Dimensão máxima em um	Água Ponto de orvalho °C	Óleo Concentração residual mg/m³
1	0,1	-70	0,01
2	1	-40	0,1
3	5	-20	1
4	15	+3	5
5	40	+7	25
6	-x-	+10	-x-
7	-x-	Não especificado	-x-

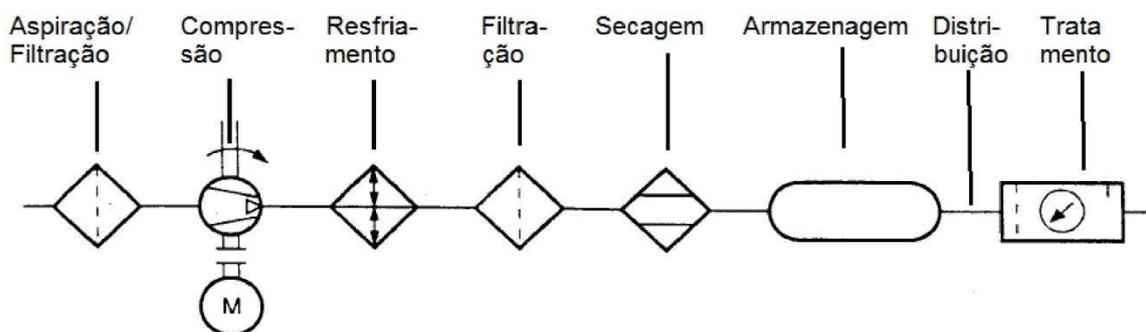
Fonte: [HTTPS://www.festo.com](https://www.festo.com).

2.4.2 Produção e Preparação do Ar Comprimido

A figura 04 mostra as etapas que o ar comprimido passa desde a sua geração e tratamento até ser distribuído nas máquinas. Em geral, o ar comprimido é produzido de forma centralizada e distribuído na fábrica. Para atender às exigências de qualidade, o ar após ser comprimido sofre um tratamento que envolve:

- Filtração
- Resfriamento
- Secagem

Figura 04: Geração, tratamento e distribuição do ar comprimido.



Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

Nessa figura cada equipamento por onde o ar passa é representado, por um símbolo. Em pneumática existe uma simbologia para representar todos os equipamentos pneumáticos. Assim estão representados na figura, por exemplo, os símbolos do filtro, compressor, motor (elétrico ou de combustão), resfriador, secador e reservatório.

Na figura 04 vemos que o ar é aspirado pelo compressor, que é a máquina responsável por comprimir o ar. A taxa de compressão é em geral 1:7, ou seja, o ar atmosférico à 1 bar é comprimido para 7 bar. Na entrada do compressor existe um filtro para reter partículas sólidas do ar do meio ambiente. Ao ser comprimido, o ar aquece aumentando a temperatura em 7 vezes, como já visto. Assim é necessário resfriá-lo, pois a alta temperatura pode danificar a tubulação. Após o resfriamento o ar passa por um processo de secagem na tentativa de remover a água do ar que está sob a forma de vapor, além disso, sofre uma filtração para eliminar partículas sólidas introduzidas pelo compressor, por exemplo. O ar então é armazenado num reservatório que tem duas funções.

- Garantir uma reserva de ar de maneira a garantir que a pressão da linha se mantenha constante, evitando que o compressor tenha que ser ligado e desligado várias vezes.

Note que o consumo de ar na fábrica é variável ao longo do expediente.

- Alguns compressores, como o compressor de êmbolo (ver adiante) geram pulsos de pressão na compressão do ar. O reservatório evita que esses pulsos de pressão sejam transmitidos para linha pneumática da fábrica. Do reservatório, o ar é distribuído na fábrica e em cada máquina existe uma unidade de tratamento de ar (descrita adiante no item 5.7) que irá ajustar as características do ar comprimido de acordo com as necessidades específicas da máquina. O ar comprimido é então convertido em trabalho mecânico pelos atuadores pneumáticos.

2.5 Principais Componentes dos Sistemas Pneumáticos

2.5.1 Compressores

Para a produção do ar comprimido há a necessidade de compressores, figura 05. Compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão do ar, adquirido na atmosfera, até uma pressão pré-estabelecida necessária para a execução dos trabalhos. A maioria dos dispositivos pneumáticos trabalha com uma estação central de distribuição de ar comprimido.

Figura 05: Compressor de ar.



Fonte: POLICENTER, 2010.

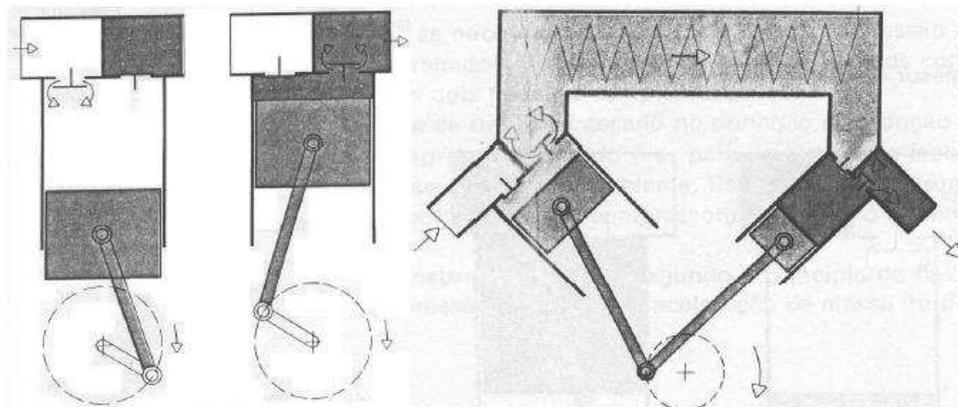
Os compressores podem ser classificados segundo seus princípios de trabalho. As classificações fundamentais são: deslocamento positivo e deslocamento dinâmico.

Os compressores classificados por deslocamento positivo baseiam-se fundamentalmente na redução de volume do ar. Nestes compressores o ar é armazenado em uma câmara isolada do meio externo, seu volume é então gradualmente diminuído, quando se alcança certa pressão este ar é então expulso da câmara para a tubulação para o transporte da energia.

Já nos compressores classificados por deslocamento dinâmico a elevação da pressão acontece mediante a transformação da energia cinética em energia de pressão. O ar é colocado em contato com impulsores, este é acelerado, atingindo altas velocidades. Após isto, seu escoamento é desacelerado através de um difusor (duto que provoca diminuição na velocidade de escoamento de um fluido, causando aumento de pressão), obrigando a um aumento da pressão.

2.5.1.1 Compressor de Êmbolo

Figura 06 : Compressor de êmbolo monoestágio e multi-estágio



Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

Consiste num mecanismo biela-manivela (igual ao motor de um automóvel) acionado por um motor elétrico ou de combustão, como mostrado na figura 06.

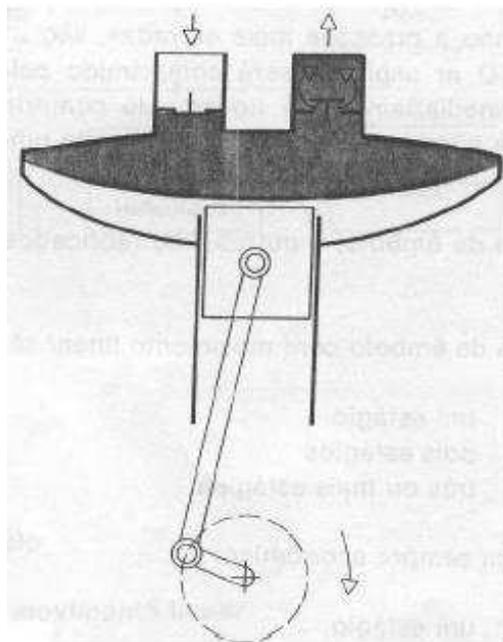
Nesse compressor, o pistão aspira o ar através da válvula de aspiração e o comprime no curso de compressão até atingir a pressão desejada quando abre a válvula de pressão. São os mais usados ("compressor do dentista"), pois tem uma larga faixa de operação como mostrado na figura 05.

São econômicos na faixa de pressão de 8 a 10 bar. Quando a razão de compressão necessária é muito alta ocorrem perdas térmicas muito altas, e nesse caso deve-se usar a versão multiestágio ,em que a cada estágio ocorre um aumento da pressão melhorando-se o rendimento. Em torno de cada pistão existem aletas para a dissipação do calor gerado na compressão. Em alguns casos é necessário um sistema de refrigeração à água.

Esse compressor apresenta como desvantagem a geração de oscilações de pressão além de um fluxo de ar pulsante.

Uma variação desse compressor, chamado compressor de membrana é apresentada na figura 07. Possui uma membrana ao invés de um pistão. A ideia é isolar o ar a ser comprimido das peças do compressor evitando resíduos de óleo. É muito utilizado nas indústrias alimentícia e farmacêutica, por exemplo.

Figura 07 - Compressor de membrana.

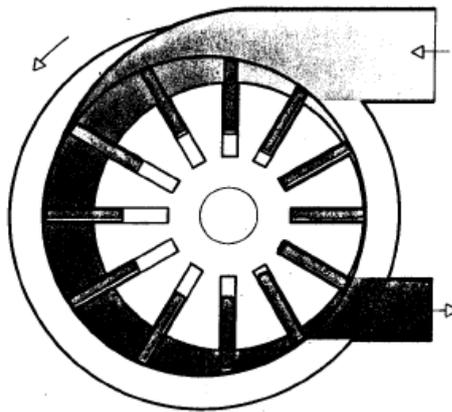


Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

2.5.1.2 Compressor de palhetas

Trata-se de um rotor que gira no interior de uma carcaça acionado por um motor elétrico ou de combustão. O rotor está excêntrico à carcaça e apresenta palhetas ao seu redor que podem deslizar em guias como mostrado na figura 07.

Figura 08: Compressor de palhetas.



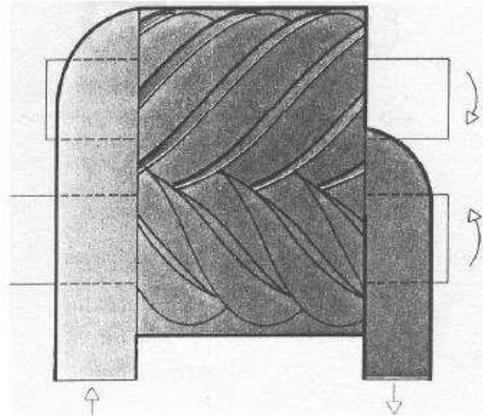
Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

Note que o volume de ar aspirado é ligeiramente comprimido ao longo do percurso do rotor. Dessa forma, o fluxo gerado é pouco pulsante, mas opera em faixas de pressão menores do que a do compressor de êmbolo.

2.5.1.3 Compressor parafuso

Consiste em dois parafusos, cada um ligado a um eixo de rotação acionado por um motor elétrico ou de combustão como mostrado na figura 09. O ar é deslocado continuamente entre os parafusos, com isto não ocorrem golpes e oscilações de pressão, uma vez que não há válvulas de oscilação de pressão e aspiração fornecendo um fluxo de ar extremamente contínuo. São pequenos e permitem alta rotação, apresentando um alto consumo de potência. Embora sejam caros são os mais preferidos no mercado por fornecer um fluxo contínuo de ar. Devem operar à seco com ar comprimido isento de óleo.

Figura 09 - Compressor de parafuso.

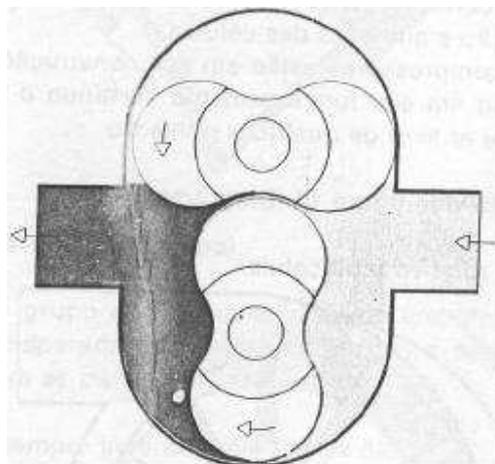


Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

2.5.1.4 Compressor roots

Consiste em duas engrenagens que se movimentam acionadas por um motor elétrico ou de combustão como mostrado na figura 10. Funciona sem compressão interna sendo usado apenas para o transporte pneumático gerando baixas pressões. A pressão é exercida apenas pela resistência oferecida ao fluxo. (SOARES, 1985).

Figura 10: Compressor Roots.



Fonte: Apostila de Pneumática Escola Politécnica da USP (2002).

2.5.2 Secadores

Como vimos, uma das vantagens dos sistemas pneumáticos é a facilidade de adquirir seu bem de transmissão de energia, o ar. O ar pode ser adquirido da atmosfera, porém, o ar atmosférico precisa ser tratado antes de ser jogado nos tubos de transmissão dos sistemas pneumáticos.

O ar atmosférico possui umidade, e a umidade é muito prejudicial aos componentes pneumáticos, sendo necessário fazer reparações e trocas, além de limitar o uso dos sistemas, pois em certos casos não se pode ter umidade no ar utilizado, por exemplo, em operações como pintura. Assim, é muito viável a utilização de secadores de ar, para a remoção da umidade do ar. (HASEBRINK,2010).

2.5.3 Tubos de transmissão

Nesta parte consideram-se apenas medidas que se deve tomar para a construção dos dutos de transmissão do ar comprimido, não se entra em detalhe sobre os motivos das especificações.

Sobre as ligações dos dutos existe a possibilidade da utilização de roscas, solda, flange e acoplamento rápido, cada qual com suas características e particularidades. Também é importante valorizar curvas e não utilizar cotovelos, para não ter perdas de energia. Outro fato importante é a inclinação dos tubos, pois mesmo após a secagem do ar, este ainda permanece com resíduos de umidade, e com uma inclinação adequada pode-se evitar acúmulo de água nos tubos. (HASEBRINK,2010).

2.5.4 Filtros de ar

O ar, como dito anteriormente, é adquirido livremente na atmosfera, e por este motivo o mesmo precisa tratado antes de ser utilizado. Além da umidade, o ar atmosférico contém partículas de impurezas que podem danificar os equipamentos causando atrito entre as partes internas do mesmo. E é por isso que existem os

filtros de ar, para a eliminação destas impurezas e também auxilia na desumidificação do ar. (FESTO,2010)

2.5.5 Lubrificadores

Os componentes de um sistema pneumático possuem parte que fazem movimentos internos causando atrito entre suas peças. O atrito desgasta as peças e com o tempo estas peças precisam ser trocadas.

O lubrificador tem como função injetar certa quantidade de óleo no ar para auxiliar na lubrificação destas peças. Atualmente os componentes pneumáticos estão sendo trabalhados para não precisarem de lubrificação, pois o ar dos sistemas pneumáticos é eliminado na atmosfera, assim poluindo o ambiente ao qual se encontra. (PARKER,1995).

2.5.6 Atuadores

Os atuadores são dispositivos que fazem a conversão da energia contida no ar comprimido em trabalho. Nos sistemas pneumáticos, eles ficam ligados diretamente à carga que se deseja movimentar. (FESTO, 2010).

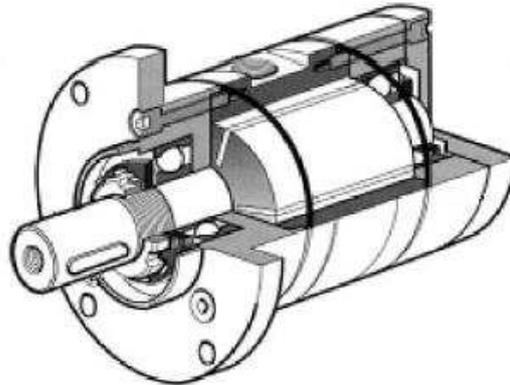
Os atuadores são divididos em lineares e rotativos. Os atuadores lineares, mostrado na figura 11, são os que produzem movimentos retilíneos, tem como exemplo os cilindros pneumáticos. Já os atuadores rotativos, ilustrado na figura 12, têm como exemplo os motores pneumáticos, transformam a energia do ar comprimido em energia de rotação.

Figura 11: Atuador pneumático linear (cilindro).



Fonte: CRUZ, 2008.

Figura 12: Motor pneumático.



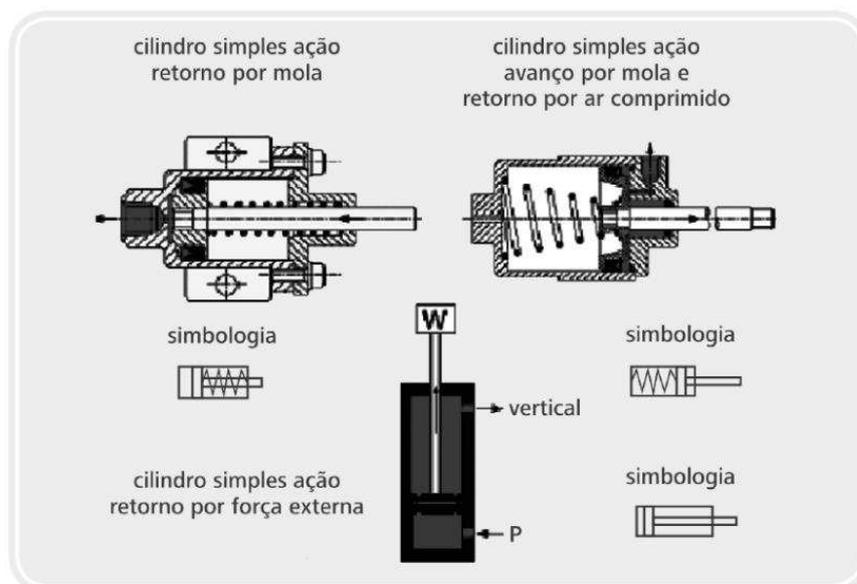
Fonte: CRUZ, 2008.

2.5.6.1 Tipos de cilindros pneumáticos.

Podem ser classificados pelo tipo de efeito ou pelo tipo de construção.

2.5.6.2 Cilindro simples efeito ou ação.

Figura 13: Cilindros simples ação.

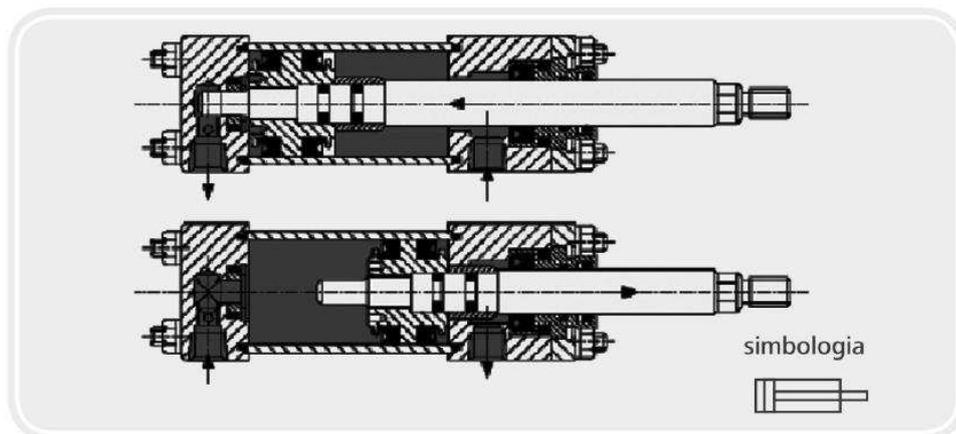


Fonte: CTIS

Possui esta denominação por utilizar ar comprimido para produzir trabalho em um único movimento, seja para avanço ou retorno. O retorno é feito por mola ou ação de uma força externa. Os cilindros com retorno por mola possuem curso limitado, máximo de 125 mm, para os maiores diâmetros.

2.5.6.3 Cilindro duplo efeito ou dupla ação

Figura 13: Cilindro dupla ação

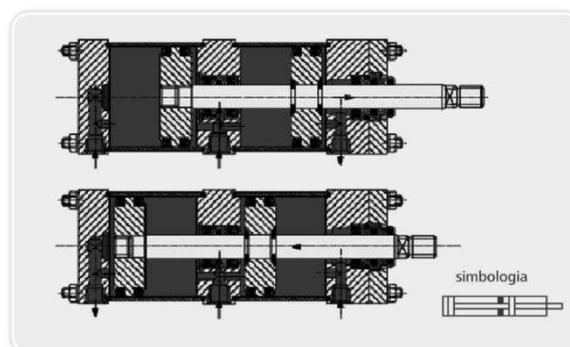


Fonte: CTISM

Utiliza o ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento, sendo esta a sua principal característica. É o tipo de cilindro mais utilizado na indústria. A força de avanço e retorno é diferente, devido a presença da haste, que reduz a área no recuo do cilindro.

2.5.6.4 Cilindro de haste dupla ou passante

Figura 14: Cilindro dupla ação com haste passante.



Fonte: CTISM.

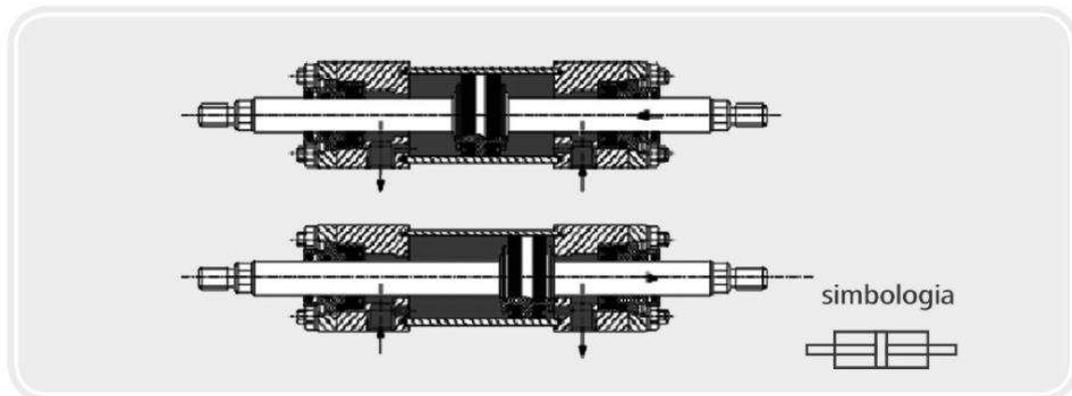
2.5.6.5 Cilindro duplex ou tandem

Dotado de dois êmbolos unidos por uma haste comum, separados entre si, por meio de um cabeçote intermediário, possui entradas de ar independentes.

A força produzida pelo cilindro duplex é a somatória das forças individuais de cada êmbolo. Isto permite dispor de maior força, em área de montagem. Restrita, onde não é possível montar um cilindro de maior diâmetro, porém com um comprimento maior exigido.

É empregado em sistemas de sincronismo de movimento, sendo as câmaras intermediárias preenchidas com óleo.

Figura 15: Cilindro duplex.



Fonte: CTISM.

Existem vários outros tipos de cilindros atuadores pneumáticos, porém para este trabalho focaremos apenas nestes já mencionados.

2.5.7 Válvulas pneumáticas

Os cilindros pneumáticos para desenvolverem as suas ações produtivas, devem ser alimentados ou descarregados convenientemente, no instante em que desejarmos, ou conforme o sistema programado. Os elementos que servem para orientar os fluxos de ar, impor bloqueios, controlarem sua intensidade de vazão ou pressão são denominados válvulas.

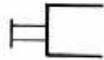
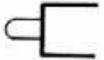
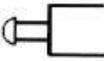
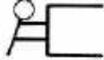
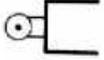
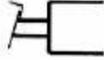
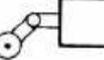
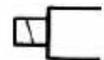
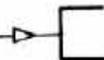
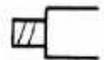
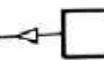
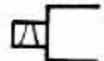
2.5.7.1 Classificação das válvulas

- Válvulas de controle direcional;
- Válvulas de bloqueio (anti-retorno);
- Válvulas de controle de fluxo;
- Válvulas de controle de pressão;

2.5.7.1.1 Válvulas de controle direcional

As válvulas direcionais são componentes dos sistemas pneumáticos responsáveis pelo acionamento dos atuadores, elas são ativadas pelo recebimento de comando via diversos meios: pneumático, mecânico, elétrico, entre outros, ver figura 16, assim, elas determinam quando um atuador será acionado assim como quanto tempo ele permanecerá pressurizado. (SOARES, 1985).

Figura 16: Acionamentos de válvulas direcionais.

<i>Acionamento Muscular</i>		<i>Acionamento Mecânico</i>	
Geral		Came	
Botão		Mola	
Alavanca		Rolete	
Pedal		Rolete Escalonável (gatilho)	
<i>Acionamento Elétrico</i>		<i>Acionamento Pneumático</i>	
Eletro-ímã Solenóide 1 enrolamento Ativo		Acréscimo de Pressão Positivo	
1 enrolamento Ativo		Decréscimo de Pressão Negativo	
1 enrolamento Ativo		Acionamento de Pressão diferencial	

Fonte: BIGATON, 2008

As válvulas direcionais possuem posições. O número de posições é a quantidade de movimentos que uma válvula pode exercer ou permanecer sob ação por certo tempo, por exemplo, tem-se uma torneira comum que pode estar fechada ou aberta permitindo assim passagem de água, neste caso há duas posições, torneira fechada e torneira aberta. Na figura 17 pode-se ver um resumo das válvulas direcionais.

Figura 17: Resumo das válvulas direcionais.

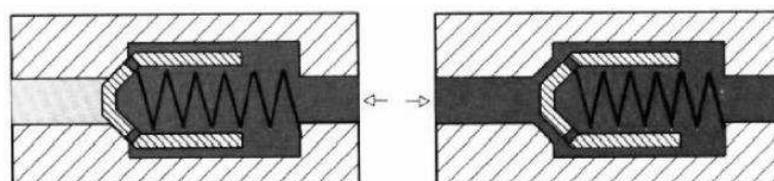
Denominação	Posição	Símbolo	Denominação	Posição	Símbolo
2 vias (2/2)	Fechada		4 vias (4/2)	1 via pressão 1 via exaustão	
2 vias (2/2)	Aberta		4 vias (4/3)	Centro Fechado	
3 vias (3/2)	Fechada		4 vias (4/3)	Centro aberto Para exaustão	
3 vias (3/2)	Aberta		5 vias (5/2)	1 via pressão 2 vias escape	
3 vias (3/3)	Centro Fechado		5 vias (5/3)	3 posições de fluxo	

Fonte: BIGATON, 2008.

2.5.7.1.2 Válvulas de bloqueio (anti-retorno)

As válvulas de retenção, figura 18, são dispositivos mecânicos que somente permitem o ar escoar em uma direção. Elas trabalham automaticamente e a maioria não precisa da ajuda de um operador ou algum atuador eletrônico de controle.

Figura 18 – Válvula de retenção



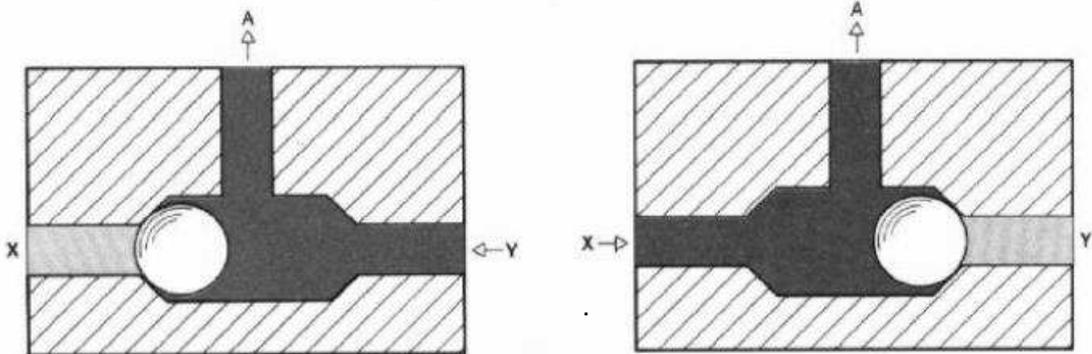
.Fonte: BIGATON, 2008.

Ocorrendo o fluxo no sentido favorável, o obturador é deslocado, permitindo a passagem do fluido. Invertendo-se o fluxo, o obturador desloca-se contra a sede e impede a passagem do fluido. As válvulas de retenção são utilizadas quando se deseja impedir o fluxo de ar em um sentido.

2.5.7.1.3 Válvulas alternadoras

As válvulas alternadoras, ver figura 19, são válvulas para pilotagem alternada, possuem duas entradas e uma saída para seleção da linha. Elas permitem o fluxo em apenas uma das linhas, bloqueando a outra entrada.

Figura 19 – Válvula alternadora

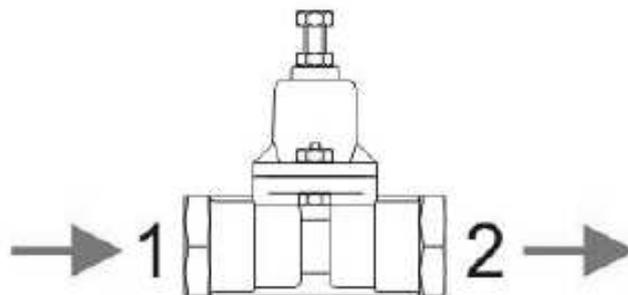


Fonte: BIGATON, 2008.

2.5.7.1.3 Válvulas reguladoras de fluxo

As válvulas reguladoras, figura 2.8, de fluxo permitem que a vazão em um determinado ponto do sistema seja controlada, assim impondo mais segurança na linha. Elas podem ser controladas manualmente ou remotamente.

Figura 19: Válvula reguladora de fluxo

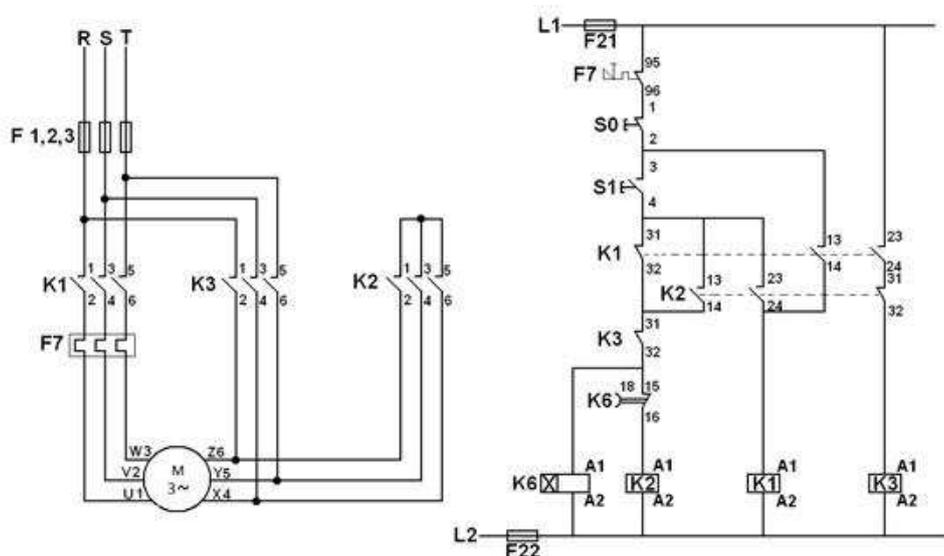


Fonte: BRAKEMATIC, 2010.

3 COMANDOS ELÉTRICOS E SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES

Comandos elétricos são dispositivos elétricos ou eletrônicos usados para acionar motores elétricos, como também outros equipamentos elétricos. São compostos de uma variedade de peças e elementos como contatores, botões temporizadores, relés térmicos e fusíveis. Uma grande parte das máquinas em oficinas e na indústria é acionada por motores elétricos. Para manejar essas máquinas são necessários dispositivos que permitem um controle sobre motores elétricos. Esses dispositivos de controle são, nos casos mais simples, interruptores, também chamados chaves manuais. Para motores de maior potência e para máquinas complexas usam-se comandos elétricos, automáticos, e muitas vezes sofisticados. Os comandos elétricos permitem um controle sobre o funcionamento das máquinas, evitando, ao mesmo tempo, manejo inadequado pelo usuário e, além disso, dispõe de mecanismos de proteção para a máquina e para o usuário. Melhoram o conforto para manejar máquinas, usando simples botões. Permitem também controle remoto das máquinas. Comandos elétricos eliminam a comutação manual de linhas de alimentação de motores e cargas de alta potência por meio de interruptores de grandes dimensões. (VAN VALKEN BURGH,1982)

Figura 20: Esquema de comandos elétricos- Partida de motor trifásico.



Fonte: www.sabereletrica.com.br

3.1 Tensão elétrica

Um dos terminais fica então eletricamente energizado em relação ao outro terminal. A energia entregue à cada unidade de carga elétrica (joule por coulomb) é medida em volt –V- e é chamada de tensão ou voltagem – simbolizada por E (para os geradores) e U (para os circuitos). Às vezes a tensão é simbolizada por “V”. A tensão é também denominada diferença de potencial elétrico – DDP. Se um circuito elétrico externo interliga os terminais do gerador, a energia das cargas elétricas dos terminais do gerador se propaga para as cargas elétricas desse circuito que, energizadas, põe-se em movimento através do circuito. Pelo fato de colocar as cargas em movimento a tensão do gerador é chamada também força eletromotriz (fem).

$$E = R \times I \quad (1)$$

Onde, E: Força Eletromotriz.

R: Resistência Elétrica

I: Corrente Elétrica

3.2 Corrente elétrica

À medida que se movem, as cargas transferem ao circuito receptor a energia que receberam no gerador. No receptor essa energia é transformada em outra forma de energia. O citado movimento é a corrente elétrica, e sua intensidade, também chamada amperagem (quantidade de cargas que passam por segundo; coulombs por segundo) - simbolizada por I -, é medida em ampère- A-. A movimentação das cargas é tanto maior quanto mais energia recebem. Ou seja, quanto maior for a tensão aplicada maior é a corrente.

3.3 Resistência elétrica

A constituição física do circuito de corrente facilita ou dificulta o movimento das cargas. Se os elétrons de valência dos átomos que compõem o circuito estão muito presos ao átomo então o circuito apresenta grande dificuldade à movimentação das cargas. Quanto maior for a quantidade de energia necessária para por em movimento as cargas elétricas do circuito, maior é a chamada resistência elétrica de tal circuito. A movimentação das cargas é, portanto menor, quanto maior for a dificuldade ou resistência – R- imposta pelo circuito à passagem das cargas. Para se conseguir a movimentação das cargas é necessária diferença de potencial de valor tanto maior quanto maior for a movimentação desejada e também quanto maior for a resistência do circuito. A fórmula da resistência é:

$$R = U/I \quad (2)$$

Onde, R: Resistência Elétrica.

U: Tensão Elétrica.

I: Corrente Elétrica.

3.4 Botoeiras e chaves de comando

Botoeiras são elementos de comando que servem para energizar ou desenergizar contatores, sendo que comutam seu contato normal aberto ou normal fechado através de acionamento manual. Podem variar quanto às cores, formato e proteção do acionador, quantidade e tipos de contatos, e reação ao acionamento. Quanto ao formato e proteção do acionador temos desde as botoeiras tipo soco, que têm o acionador grande na forma de “cogumelo”, sendo de fácil acionamento, destinadas à situações de emergência; até as botoeiras com acionador protegido por tampa, que evitam o acionamento por toque acidental e somente devem ser operadas conscientemente.

Figura 21 : Tipos de botoeiras



Fonte: <http://comandoseletricosii.blogspot.com.br/2013/03/aula-3-botoeiras-de-comando.html>

A variação quanto à reação ao acionamento consiste de dois tipos: as de retenção que trocam a condição do contato normal aberto ou fechado toda vez que são operadas e permanecem na nova posição até o próximo acionamento e as pulsantes, que trocam a condição do contato somente enquanto existir a pressão externa, voltando às condições iniciais assim que cesse a mesma. Quanto à instalação, devem estar dispostas com espaçamento correto e padrão e o botão “desliga”, deve ficar sobre o botão “liga” na posição vertical. Na posição horizontal, o botão “desliga” geralmente está à direita do botão “liga”.

Contatos de alta capacidade de corrente de comutação são chamados de contatos de carga, contatos de força ou contatos principais. São destinados a aplicação em ramais de motores ou de carga, onde exista alta intensidade de corrente elétrica. Os contatos a serem usados nos próprios comandos são chamados auxiliares. Eles suportam baixas intensidades de corrente e não podem ser aplicados em circuitos de carga.

Dentro das chaves existem dois tipos de contato: normalmente aberto e normalmente fechado. Contato normalmente aberto (NA): Sua posição original é aberta, ou seja, permanece aberto até que seja aplicada uma força externa.

Figura 22: Significado e aplicação

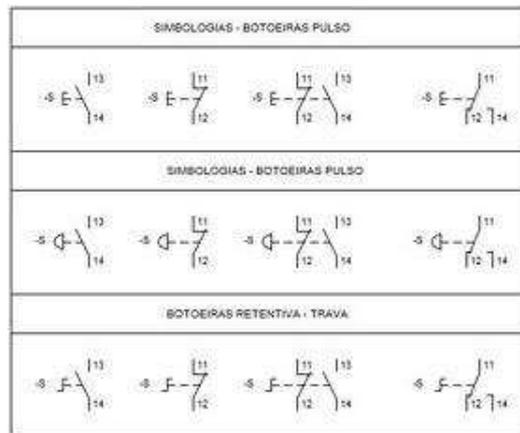
Cores	Significado	Aplicações Típicas
 Vermelho	<ul style="list-style-type: none"> ● Parar, desligar. ● Emergência. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Parada de um ou mais motores. ● Parada de unidades de uma máquina. ● Parada de ciclo de operação. ● Parada em caso de emergência. ● Desligar em caso de sobreaquecimento perigoso.
 Verde ou  Preto	<ul style="list-style-type: none"> ● Partir, ligar, pulsar. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Partida de um ou mais motores. ● Partir unidades de uma máquina. ● Operação por pulsos. ● Energizar circuitos de comando.
 Amarelo	<ul style="list-style-type: none"> ● Intervenção. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Retrocesso. ● Interromper condições anormais.
 Azul ou  Branco	<ul style="list-style-type: none"> ● Qualquer função, exceto as acima. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Reset de relés térmicos. ● Comando de funções auxiliares que não tenham correlação direta com o ciclo de operação da máquina.

Fonte: <http://comandoseletricosii.blogspot.com.br/2013/03/aula-3-botoeiras-de-comando.html>

Também é frequentemente chamado, na maioria das aplicações industriais, de contato NO (do inglês, normally open). A sua marcação é feita por meio de dois dígitos. O primeiro dígito representa o número sequencial do contato, o segundo representa o código da função, que no caso dos contatos auxiliares NA são 3 e 4.

Contato normalmente fechado (NF): Sua posição original é fechada, ou seja, permanece fechado até que seja aplicada uma força externa. Também é frequentemente chamado, na maioria das aplicações industriais, de contato NC (do inglês, normally closed). No caso dos contatos NF, a marcação é feita por meio de dois dígitos. O primeiro dígito representa o número sequencial do contato, o segundo representa o código da função, que no caso dos contatos auxiliares NF são 1 e 2.

Figura 23: Simbologia



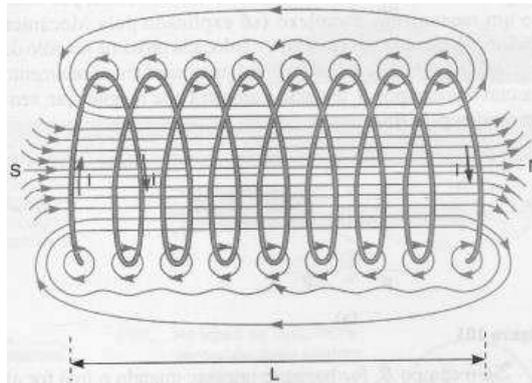
Fonte: Fonte: <http://comandoseletricosii.blogspot.com.br/2013/03/aula-3-botoeiras-de-comando.html>

3.5 SOLENÓIDES ELÉTRICOS

O solenoide ou bobina longa, como também pode ser chamado, é um fio condutor dobrado em forma de hélice ou pode ser definido como um conjunto de espiras de mesmo eixo espaçadas uniformemente.

Segundo Sampaio e Calçada (2005, pg. 35) “Aplicando uma corrente elétrica neste fio condutor ele irá gerar um campo magnético ao redor e no interior do solenoide.” O campo magnético no seu interior é uniforme e as linhas do campo são paralelas ao seu eixo. O campo do solenoide é bem semelhante ao campo de um ímã em forma de barra, onde a extremidade por onde saem as linhas de campo é o polo norte, e a extremidade por onde entram as linhas de campo é o polo sul. (Sampaio/Calçada, 2005).

Figura 24: Simbologia



Fonte: Sampaio/Calçada, 2005.

No interior de um solenoide temos um campo uniforme, cuja intensidade é dada pela seguinte fórmula:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot i \quad (3)$$

Onde N é o número de espiras. O número de espiras por unidade de comprimento é dado pelo quociente N/L , se falarmos que $n = N/L$, temos que: $B = \mu_0 n i$.

Para sabermos o sentido do campo magnético de um solenoide utiliza-se a regra da mão direita, cujo polegar fica sobre a corrente elétrica e os dedos mostram o sentido do campo. Os solenoides são utilizados numa grande quantidade de aplicações na indústria, em eletrodomésticos de todos os tipos, em eletrônica embarcada (automotiva, aeronáutica e náutica) além de muitas outros campos em que a eletrônica esteja presente. O solenoide é um dos mais importantes de todos os dispositivos eletromecânicos conhecidos.

3.6 Circuitos eletropneumaticos

Os sistemas eletropneumáticos caracterizam-se por possuir um sistema de potência que utiliza pneumática, porém com um sistema de controle elétrico. Por este motivo, nestes casos, passaremos a ter dois circuitos para representar o sistema:

a) Circuito pneumático – apresenta os atuadores, válvulas e todos os componentes pneumáticos do sistema;

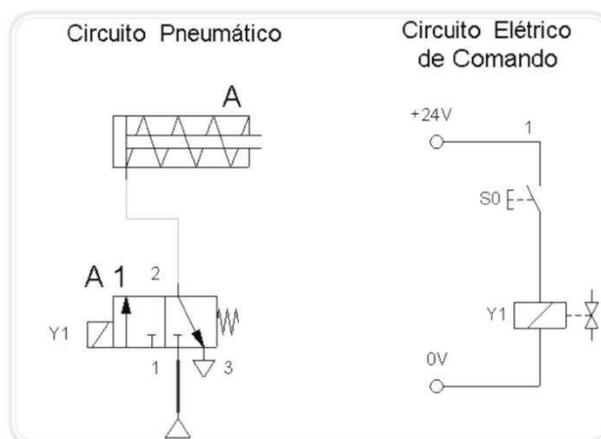
b) Circuito elétrico de comando – apresenta os componentes elétricos do sistema, que realizarão o controle do mesmo.

A interação entre o sistema elétrico e o sistema pneumático normalmente ocorre através do acionamento das válvulas, que passa a ser feito através de solenoides elétricos.

3.6.1 Circuito eletropneumático simples

A Figura 25 apresenta um circuito eletropneumático simples, o qual realiza o acionamento do cilindro “A” (cilindro pneumático de simples ação e retorno por mola) através de uma botoeira elétrica pulsante “S0”.

Figura 25: Circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro simples ação

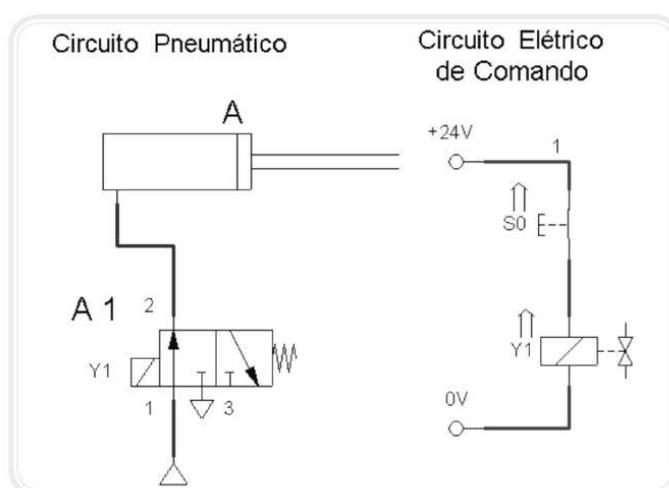


Fonte: CTISM

O controle do cilindro é realizado pela válvula 3/2 “A1”, que é atuada através do solenoide “Y1”, tendo o seu retorno automático por mola. No circuito

elétrico está representada a botoeira de controle, a qual, ao ser pressionada, energiza a solenoide “Y1”. Como podemos ver na figura 6.2, ao ser energizado, este solenoide atua sobre a válvula “A1” realizando o direcionamento do ar de modo que o cilindro avance. Ao liberar a botoeira, a energia do solenoide é desligada e, portanto, a válvula retorna a sua posição inicial através de sua mola.

Figura 26: Circuito eletropneumático acionado.



Fonte: CTISM.

No sistema elétrico podemos também observar que é utilizada uma fonte de 24 VCC e, portanto, todos os componentes devem ser compatíveis com este tipo de alimentação.

4 MONTAGEM E ANÁLISE DOS CIRCUITOS

Agora, enfim, é hora da simulação e montagem dos circuitos eletropneumáticos. Partiremos seguindo uma escala de grau de dificuldade, iniciando, obviamente pelos circuitos mais simples, até chegar aos mais complexos.

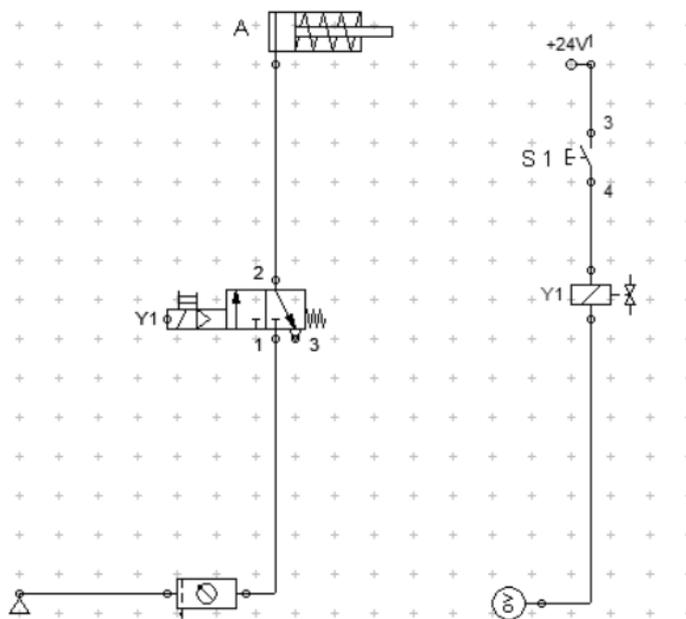
Nesta etapa, utilizaremos alguns dos componentes mencionados ao longo deste trabalho, como válvulas, atuadores, eletroválvulas, relés, botoeiras, etc. Primeiramente, será mostrada a condição problema, em seguida, a imagem da tela

de simulação do software FluidSim, seguindo das fotos reais da montagem em bancada.

4.1 ENSAIO 01

Ao acionamos um botão de comando, a haste de um cilindro de ação simples com retorno por mola deve avançar. Enquanto mantivermos o botão acionado, a haste deverá permanecer avançada. Ao soltarmos o botão, o cilindro deve retornar a sua posição inicial.

Figura 27: Ensaio 1



Fonte: Autor.

Acionando-se o botão pulsador S1, seu contato normalmente aberto fecha e energiza a bobina do solenóide Y1 da válvula direcional, fazendo com que sua haste do cilindro avance comprimindo a mola.

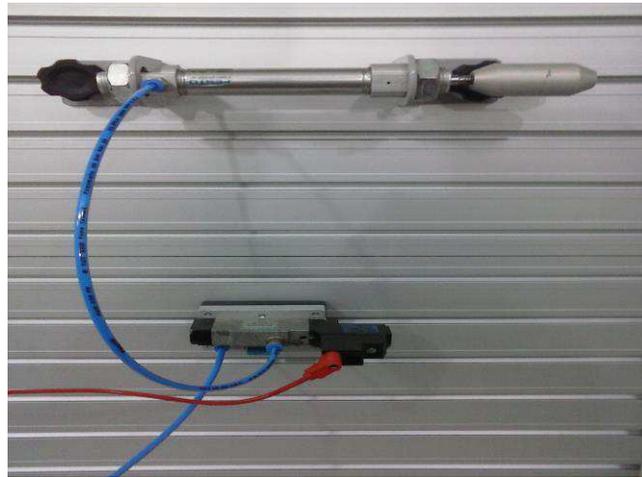
Enquanto o botão de comando S1 for mantido acionado, o solenoide Y1 permanece ligado e a haste do cilindro avançada. Soltando-se o botão pulsador S1, seu contato que havia fechado abre automaticamente e interrompe a passagem da corrente elétrica, desligando a bobina do solenoide Y1 e fazendo com que a mola do cilindro retorne a haste para a sua posição inicial.

Figura 28: Ensaio 1-Bancada



Fonte: Autor

Imagem 29: Atuador e eletroválvula



Fonte :Autor

Figura 30: Comando elétrico



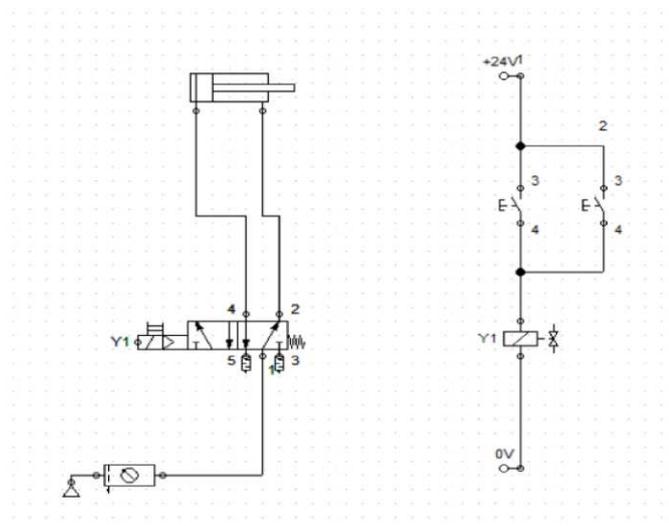
Fonte: Autor

4.2 Ensaio 02

Um cilindro de dupla ação deve ser acionado de dois locais diferentes e distantes entre si, como, por exemplo, no comando de um elevador de cargas, que pode ser acionado tanto do solo quanto da plataforma.

Utilizando o software FluidSim para construir o circuito e fazer sua simulação, temos:

Figura 31: Circuito Ensaio 02



Fonte : Autor.

Os contatos normalmente abertos de dois botões de comando pulsadores S1 e S2, montados em paralelo, possuem a mesma função, ou seja, ligar o solenoide Y1 da válvula direcional. Dessa forma, acionando-se o botão S1 ou S2, o contato fecha, energizando a bobina do solenoide Y1. Quando o solenoide Y1 é ligado, abre-se uma pilotagem pneumática que empurra o carretel da válvula direcional para a direita, liberando a passagem do ar comprimido do pórtico 1 para o 2 e daí para a câmara traseira do cilindro, ao mesmo tempo em que o ar acumulado na câmara dianteira é descarregado para a atmosfera do pórtico 4 para o 5 da válvula. Dessa forma, a haste do cilindro avança, tanto se o comando for efetuado pelo botão S1 como se for ativado pelo S2.

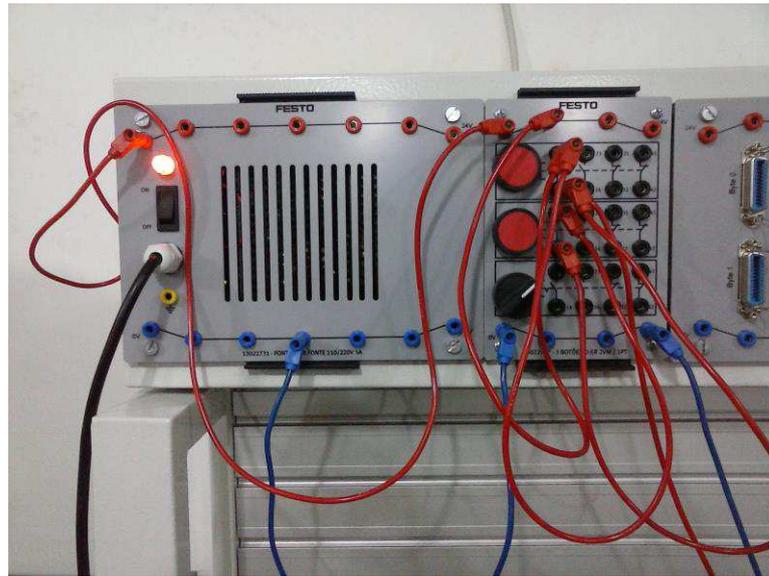
Soltando-se o botão que foi acionado, seu contato volta a abrir, interrompendo a passagem de corrente elétrica para a bobina e desligando o solenoide Y1. Quando o solenoide Y1 é desligado, a pilotagem pneumática interna é desativada e a mola da válvula direcional volta a empurrar o carretel para a esquerda. Nessa posição, o ar comprimido flui pela válvula do pórtico 1 para o 3, fazendo com que a haste do cilindro retorne, enquanto que o ar acumulado na câmara traseira descarrega para a atmosfera, através da válvula, do pórtico 2 para o 3.

Figura 32: Ensaio 2.



Fonte: Autor

Figura 33: Comando Elétrico, duas botoeiras.



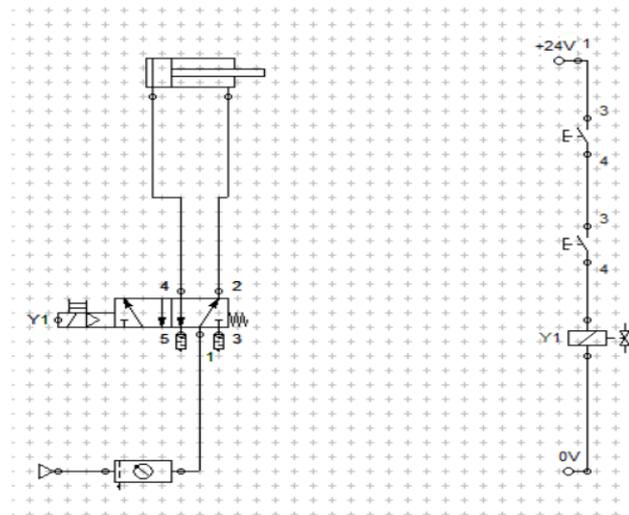
Fonte: Autor.

4.3 Ensaio 03

Um cilindro de dupla ação deve acionar apenas quando dois botões de comando forem acionados simultaneamente (comando bi manual). Soltando-se qualquer um dos dois botões de comando, o cilindro deve voltar imediatamente a sua posição inicial.

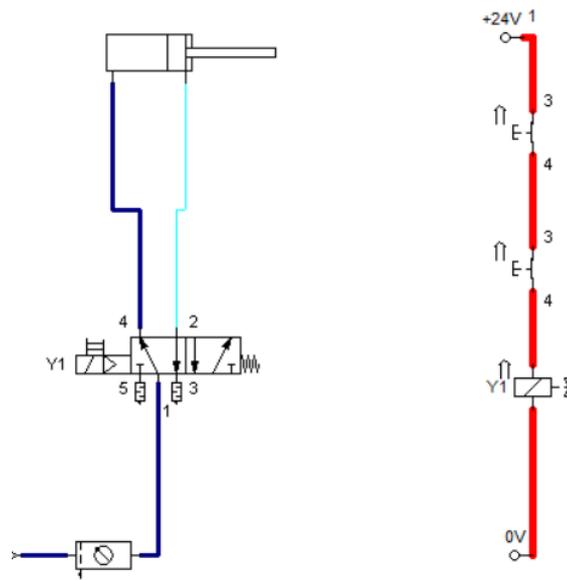
Solução:

Figura 34: Ensaio 03, desacionado.



Fonte: Autor

Figura 35: Ensaio 03, circuito acionado.



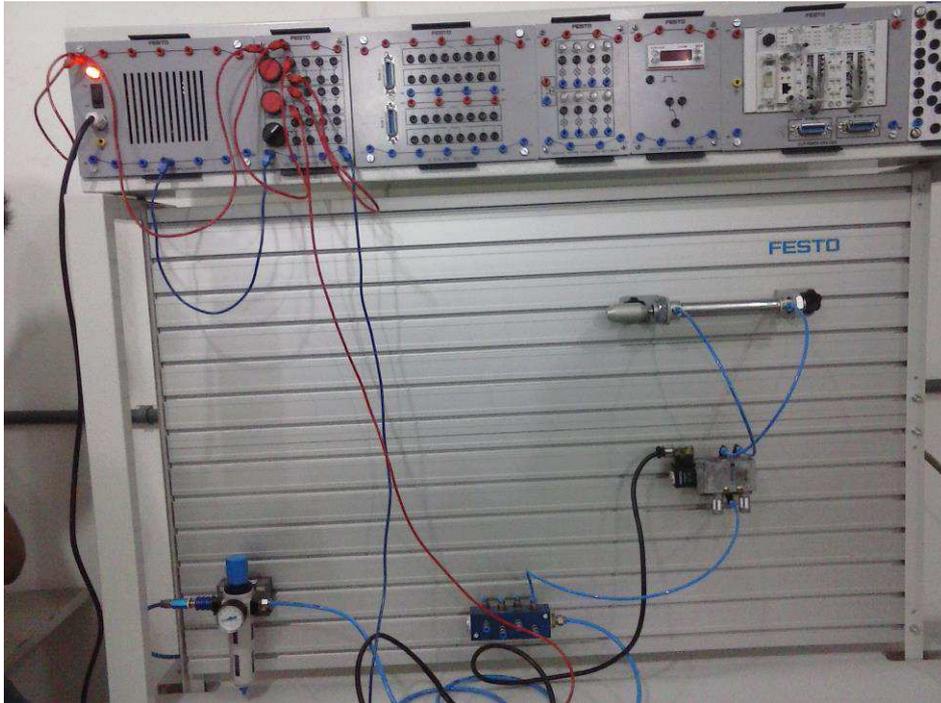
Fonte: Autor

Para a solução deste problema, utilizam-se os contatos normalmente abertos dos dois botões de comando pulsadores S1 e S2, agora montados em série, ambos com a mesma função de ligar o solenoide Y1 da válvula direcional.

Se somente o botão S1 for acionado, seu contato fecha, mas a corrente elétrica permanece interrompida no contato aberto do botão S2, mantendo a bobina do solenoide Y1 desligada. Da mesma forma, se somente o botão S2 for acionado, embora seu contato feche, a corrente elétrica se mantém interrompida pelo contato aberto do botão S1, fazendo com que a bobina do solenoide Y1 permaneça desligada.

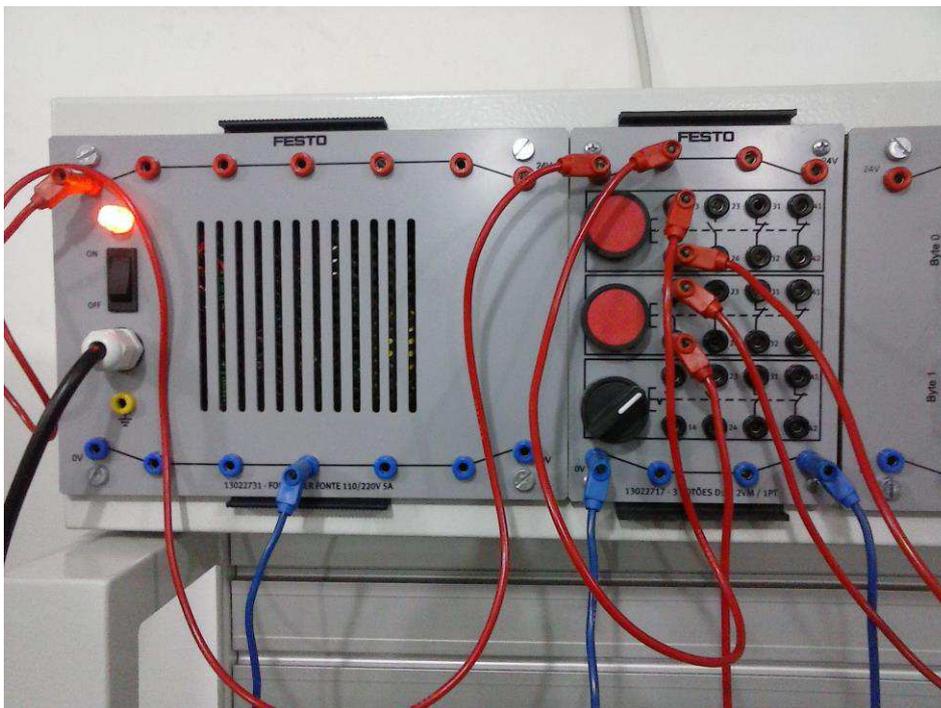
Sendo assim, o solenoide Y1 somente poderá ser energizado se os botões S1 e S2 forem acionados ao mesmo tempo ou simultaneamente, isto é, um e logo em seguida o outro. Somente quando os dois botões estiverem acionados, seus contatos normalmente abertos fecham e permitem a passagem da corrente elétrica que liga o solenoide Y1, abrindo a pilotagem interna e invertendo a posição da válvula direcional que comanda o movimento de avanço da haste do cilindro.

Figura 36: Ensaio 03, circuito prático.



Fonte: autor

Figura 37: Ensaio 03, comando elétrico.



Fonte: autor.

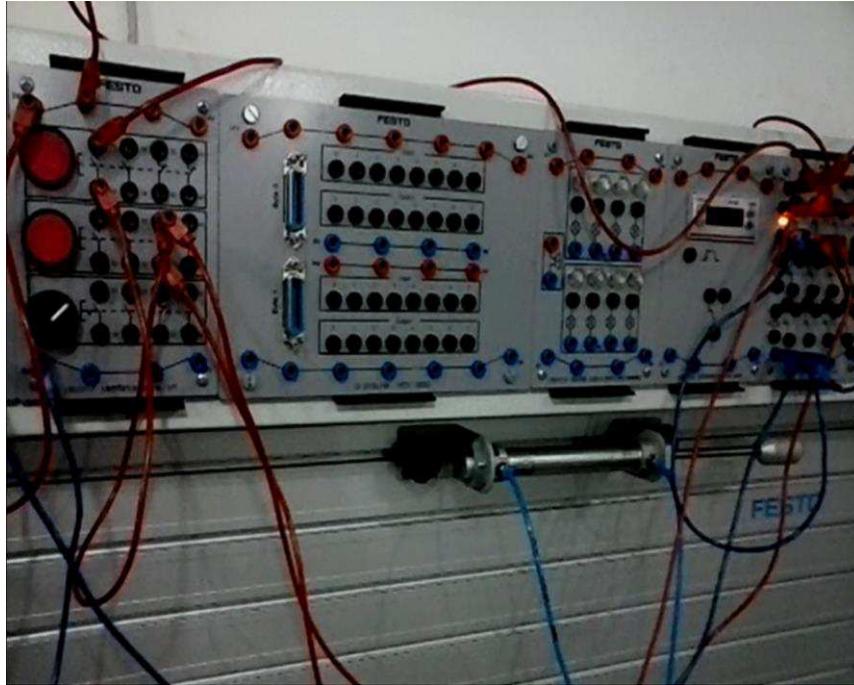
Utilizando uma válvula direcional 5/2 vias com acionamento por servocomando e reposição por mola, com comando elétrico de auto retenção e comportamento de desligar dominante.

Acionando-se o comando S1, seu contato normalmente aberto, fecha e permite a passagem da corrente elétrica. A corrente passa também pelo contato fechado S2, ligado em série com o botão S1, e liga a bobina do relê auxiliar K1. Quando K1 é energizado, todos os seus contatos se invertem, os normalmente abertos fecham e os normalmente fechados, abrem.

Neste caso, o primeiro contato de K1 utilizado no circuito, ligado em paralelo com o botão S1, fecha para efetuar a auto-retenção da bobina de K1, isto é, mesmo que o botão S1 seja desacionado, a corrente elétrica continua passando pelo primeiro contato de K1, paralelamente ao botão S1, e mantendo a bobina de K1 energizada. Um segundo contato de K1 é utilizado no circuito para ligar a bobina do solenóide Y1 que, quando energizado, faz com que a haste do cilindro avance com velocidade controlada pela reguladora de fluxo 1.02.

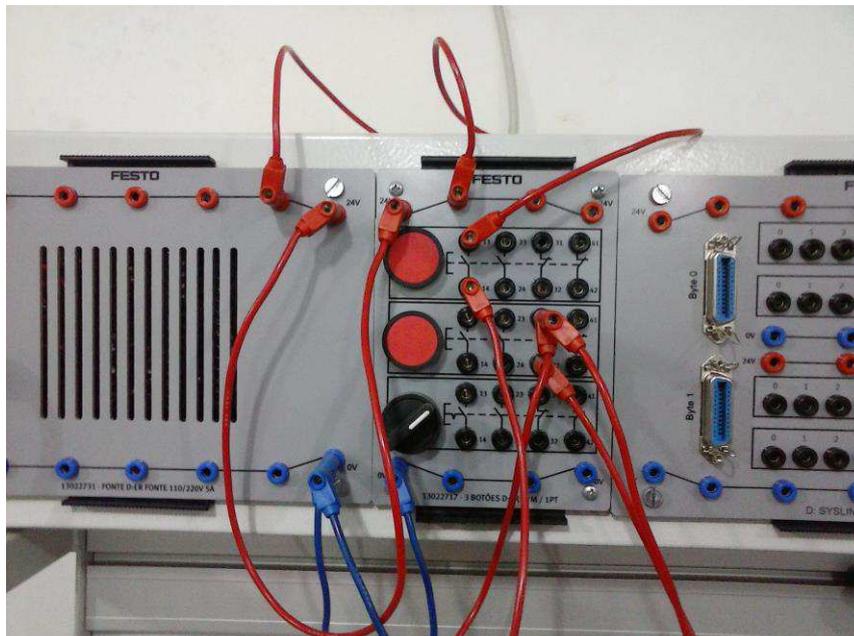
Dessa forma, pode-se soltar o botão de comando S1 que o relê auxiliar K1 se mantém ligado por um de seus próprios contatos (auto retenção) e, ao mesmo tempo, conserva energizado o solenoide Y1 por meio de outro de seus contatos, garantindo a continuidade do movimento de avanço do cilindro. Para fazer com que a haste do cilindro retorne, basta dar um pulso no botão de comando S2. Acionando-se o botão S2, seu contato normalmente fechado, ligado em série com o primeiro contato de K1 que mantinha a auto retenção de K1, abre e interrompe a passagem da corrente elétrica para a bobina do relê auxiliar K1. Imediatamente o relê K1 é desligado e todos os seus contatos voltam à posição normal. O primeiro contato de K1 abre e desliga a auto retenção de K1 permitindo que mesmo que o botão S2 seja desacionado a bobina de K1 permaneça desligada. O segundo contato de K1, por sua vez, abre e bloqueia a passagem da corrente elétrica, desligando o solenoide Y1, fazendo com que a haste do cilindro retorne com velocidade controlada pela válvula reguladora de fluxo.

Figura 40: Ensaio 04, circuito prático.



Fonte: Autor

Figura 41: Ensaio 04, comando do relê.



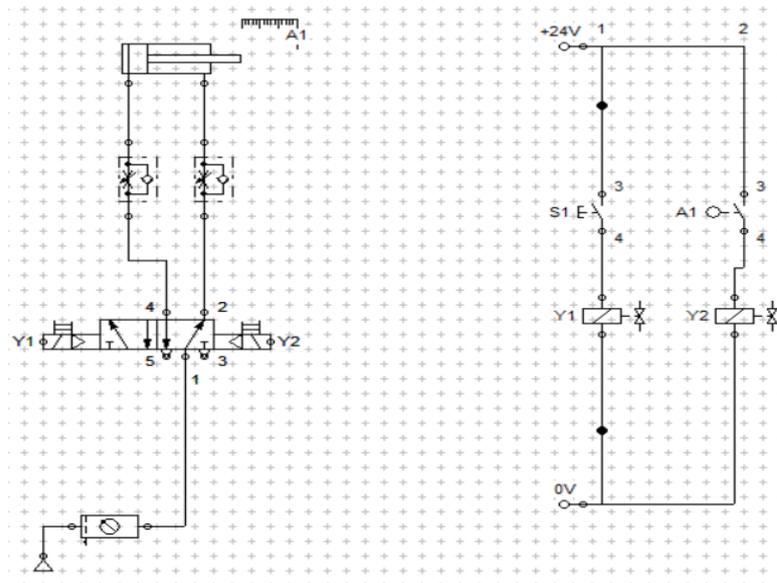
Fonte: Autor.

4.5 Ensaio 05

Um cilindro de dupla ação deve avançar, quando for acionado um botão de partida e retornar automaticamente quando atingir o final de curso avançado.

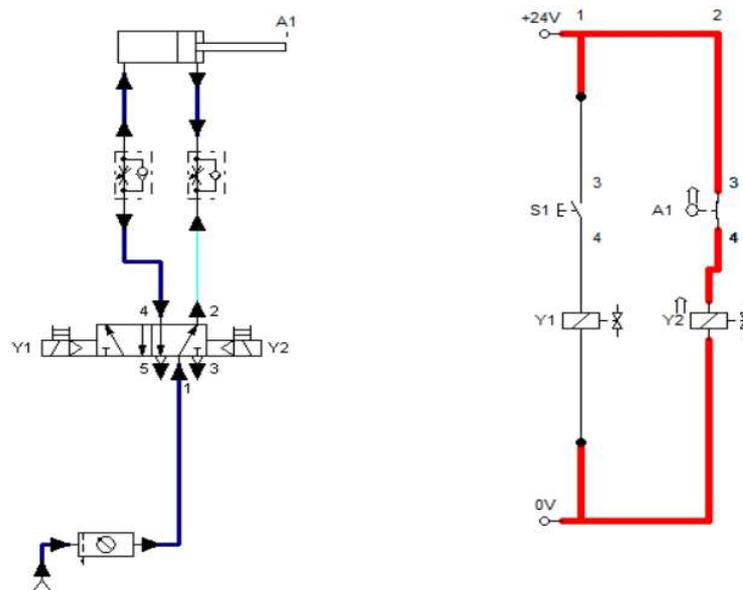
Solução A:

Figura 42: Ensaio 05, circuito desacionado.



Fonte: Autor

Figura 43: Ensaio 05, circuito acionado.

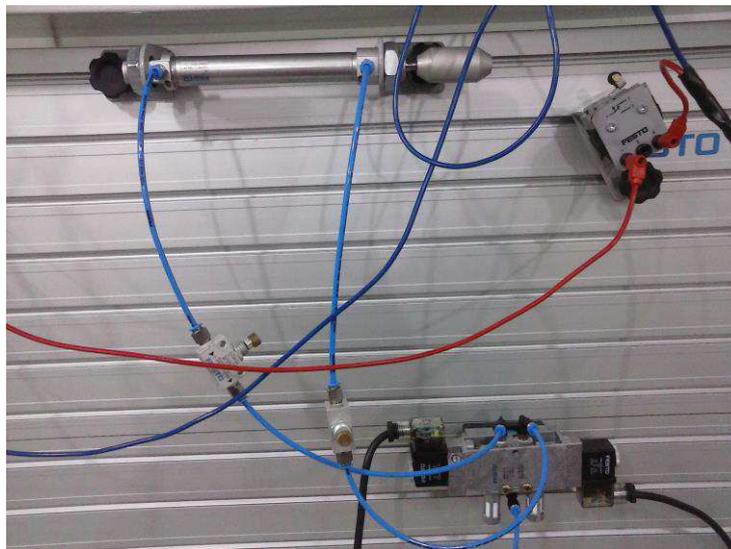


Fonte: Autor

Acionando-se o botão de partida S1, seu contato normalmente aberto fecha e liga o solenoide Y1 da válvula direcional, fazendo com que a haste do cilindro avance com velocidade controlada pela reguladora de fluxo.

Quando o botão S1 é desacionado, desligando o solenoide Y1, como a válvula direcional não possui mola de reposição, o cilindro permanece avançado. Portanto, para fazer com que a haste do cilindro avance, não é necessário manter o botão de comando S1 acionado, basta dar um pulso e soltar o botão, já que a válvula direcional memoriza o último acionamento efetuado.

Figura 44: Ensaio 05, circuito prático.



Fonte: Autor.

Ao chegar ao final do curso de avanço, a própria haste do cilindro aciona mecanicamente o rolete da chave fim de curso S2. Desde que o operador tenha soltado o botão de partida, o contato normalmente aberto da chave fim de curso S2 fecha e liga o solenoide Y2 da válvula direcional, fazendo com que a haste do cilindro retorne com velocidade controlada pela reguladora de fluxo.

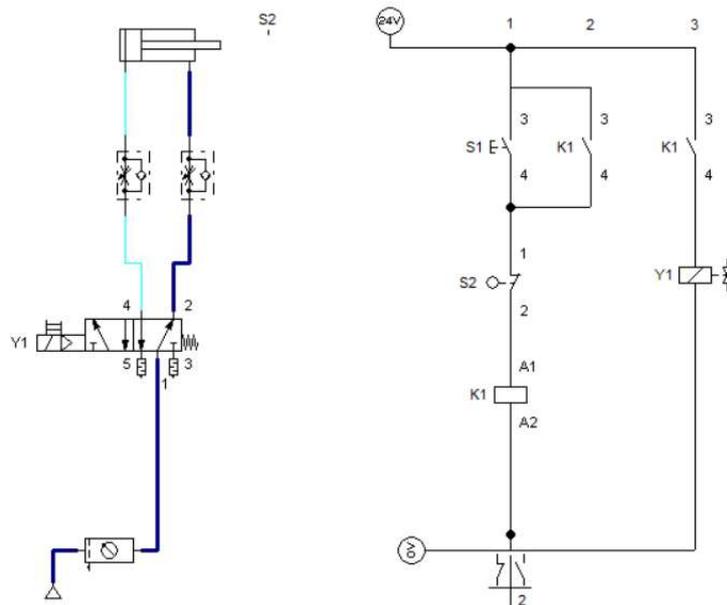
Ao retornar, a haste do cilindro desaciona o rolete da chave fim de curso S2, cujo contato volta a abrir desligando o solenoide Y2. Como a válvula não possui mola de reposicionamento e apresenta o comportamento de memorizar o último acionamento, a haste do cilindro prossegue no seu movimento de retorno, mesmo com o solenoide Y2 desligado.

Um novo ciclo pode ser iniciado por meio do acionamento do botão de partida.

Solução B:

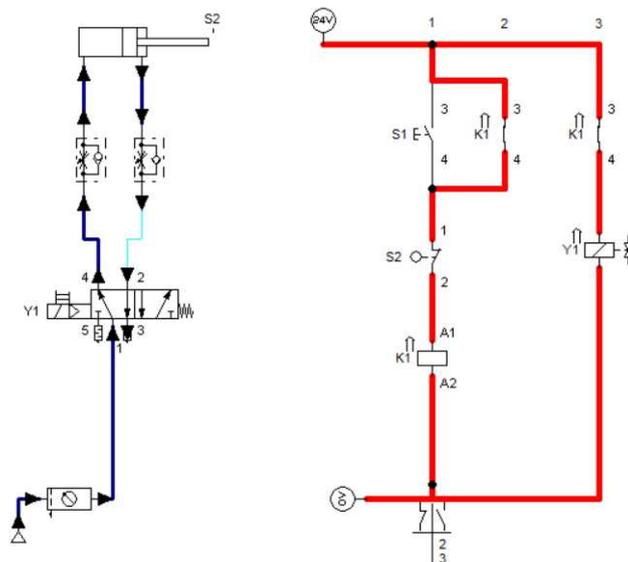
Utilizando uma válvula direcional 5/2 vias, com acionamento por servo comando e retorno por mola.

Figura 45: Ensaio 05, desacionado.



Fonte: Autor

Figura 46: Ensaio 05, acionado.

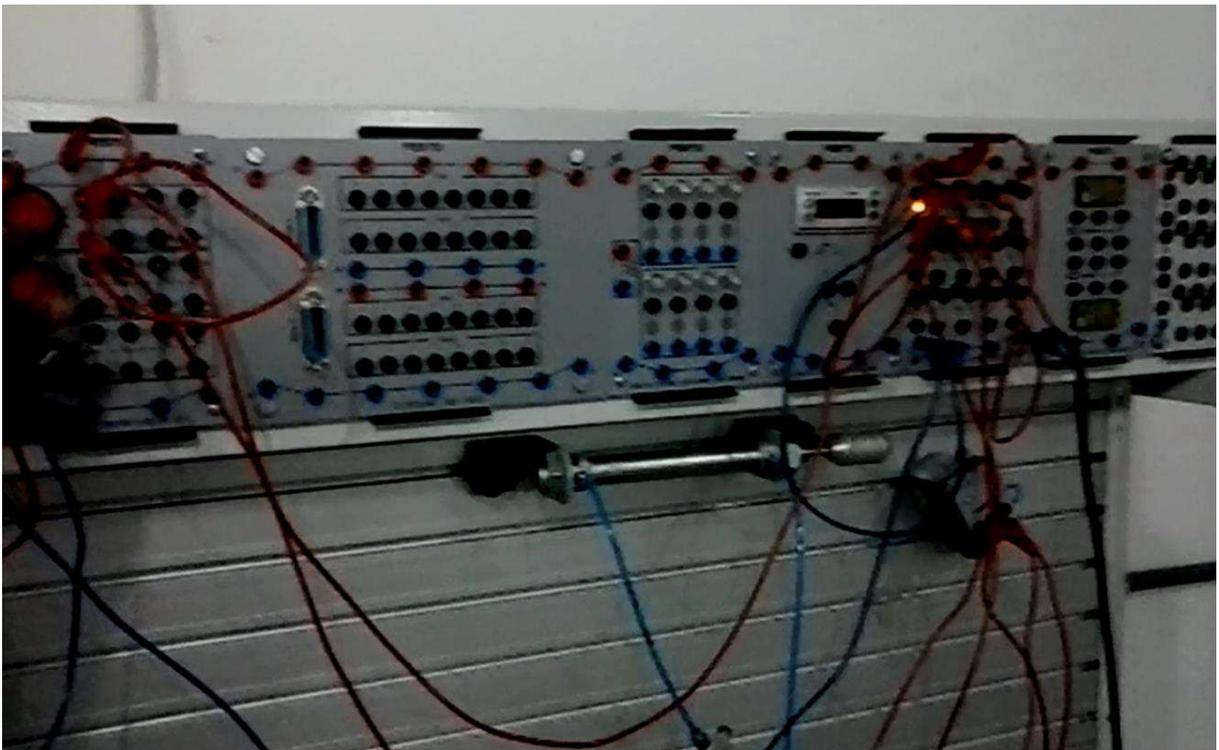


Fonte: Autor.

Acionando-se o botão de comando S1, o relê K1 será energizado, já que o comando fim de curso S2 é normalmente fechado. Em seguida, o relê K1 irá comutar seus contatos normalmente abertos, fechando seu contato de selo, assim, mesmo após soltar o botão S1, o relê continuará energizado. Fechará, simultaneamente, o contato que aciona a eletroválvula Y1, fazendo a comutação da válvula direcional, com isso o sentido do fluxo de ar muda e desloca a haste do cilindro para frente.

Quando a haste do cilindro alcança seu curso máximo, esta aciona a válvula fim de curso, abrindo-a. Então o contato S2 se abre, desenergizando o relê e conseqüentemente a eletroválvula fazendo todo o sistema voltar para o estado inicial graças ao sistema de retorno por mola da válvula direcional. O cilindro se recolhe novamente, até que seja acionado o comando inicial outra vez.

Figura 47: Ensaio 05, circuito prático.



Fonte: Autor.

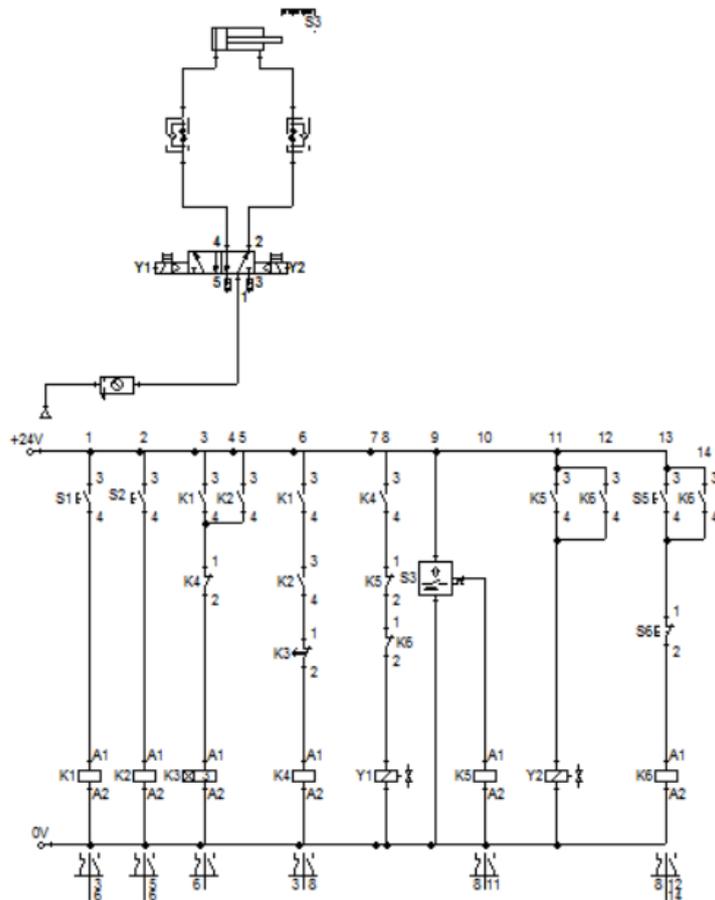
4.6 Ensaio 06

Um cilindro de ação dupla somente deverá avançar quando seus dois botões de partida forem acionados simultaneamente (comando bi manual). Se a diferença de tempo entre os acionamentos dos dois botões for maior do que 2 segundos, o cilindro não deverá partir. O retorno deverá ocorrer automaticamente através de um sensor de indução instalado no fim do curso do seu êmbolo. Um sistema de emergência, quando acionado, deverá permitir que o cilindro volte imediatamente a sua posição inicial.

Solução:

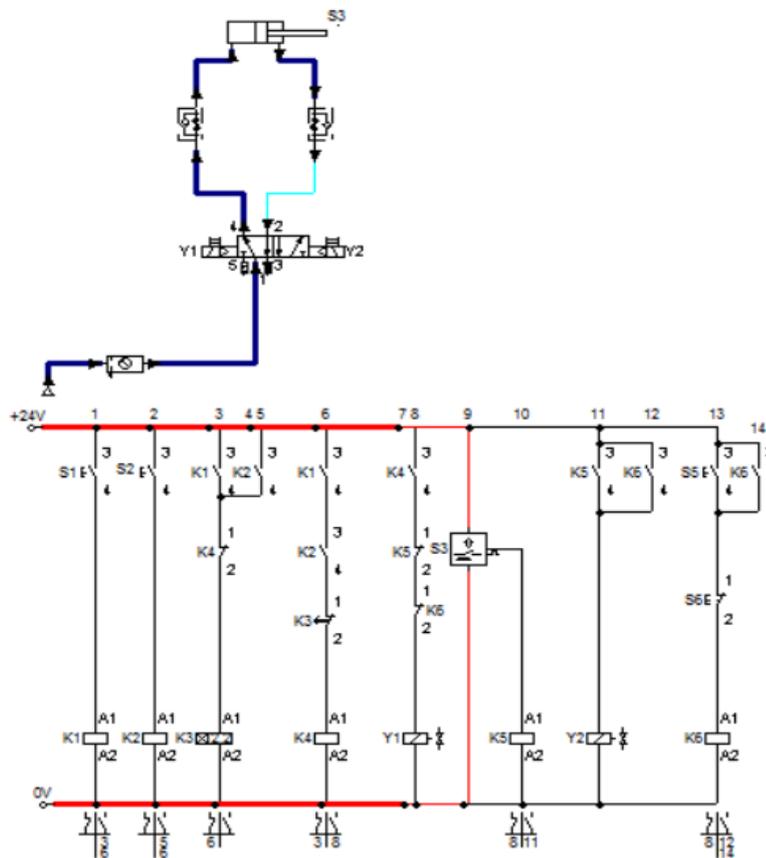
Utilizando uma válvula direcional de 5/2 vias com acionamento por duplo servocomando que memoriza o último acionamento.

Figura 48: Ensaio 06, circuito desacionado.



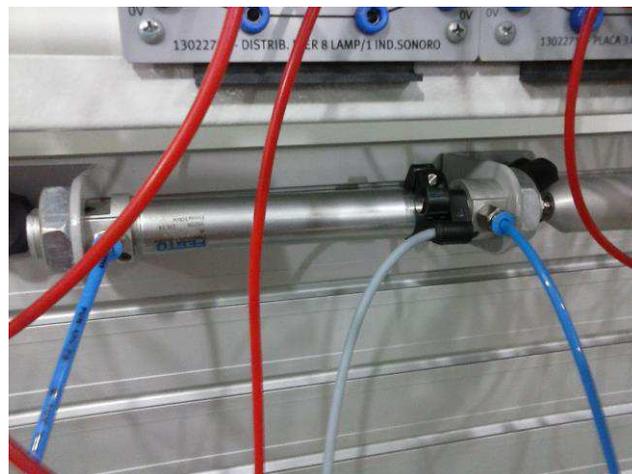
Fonte: Autor, Fluidsim.

Figura 49: Ensaio 06, circuito acionado.



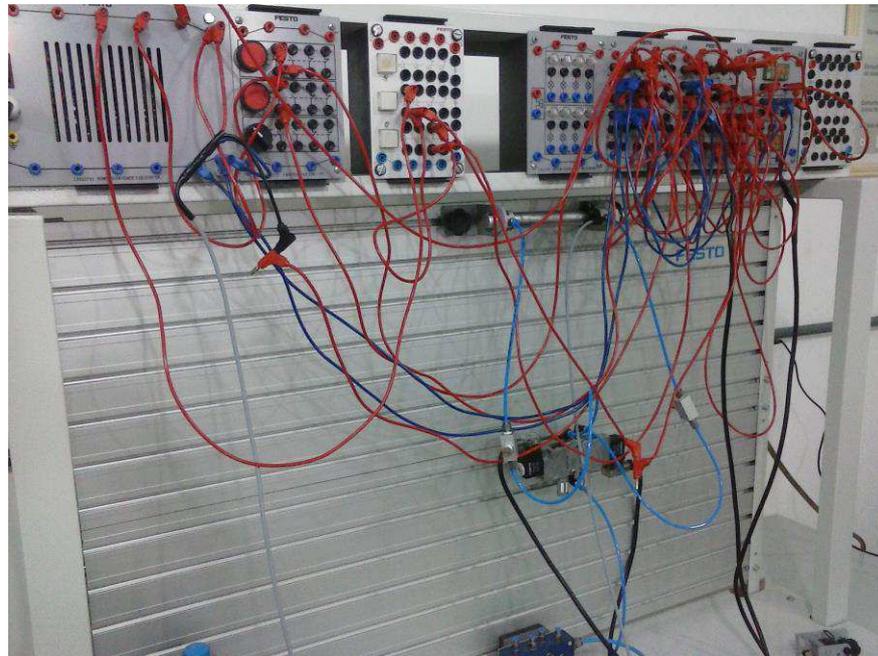
Fonte: Autor

Figura 50: Sensor acoplado ao cilindro.



Fonte: Autor

Figura 51: Ensaio 6,prática .



Fonte: Autor

O ciclo apenas pode ser iniciado se forem acionados, simultaneamente, os comandos S1 e S2, o período de intervalo entre os acionamentos dos botões não pode ultrapassar três segundos (tempo pode ser ajustado para qualquer valor dentro da faixa de atuação do relê). Caso ultrapasse esses três segundos o relê com retardo comuta seu contato NF para NA impedindo, assim, que a eletroválvula Y1 seja acionada.

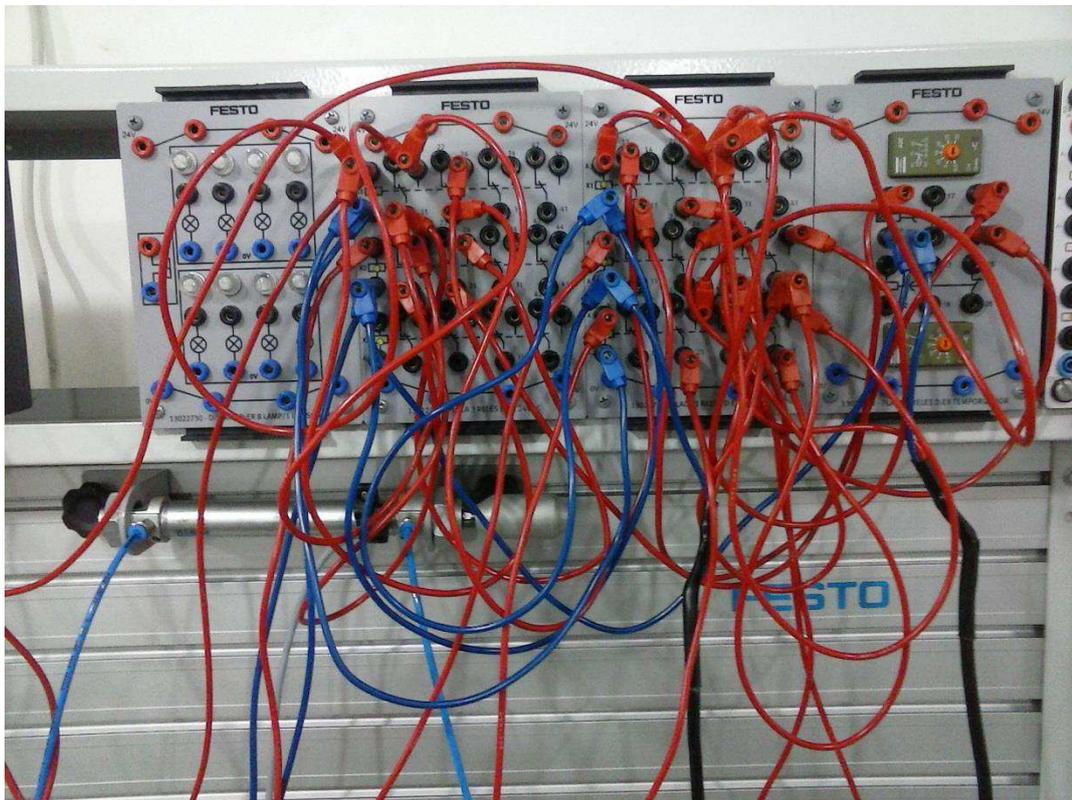
Quando é acionado um dos botões S1 ou S2, ocorre a alimentação do relê de retardo que então inicia sua contagem. Então o outro botão deve ser acionado antes dessa contagem chegar ao fim. Acionando-se o outro botão, o relê K4 é alimentado passando pelos contatos fechados de k1, k2 e k3. O relê K4 irá comutar seu contato NF e acionar a eletroválvula Y1 através dos contatos fechados K5 e K6, a eletroválvula Y1 irá comutar a válvula direcional e encaminhar o fluxo de ar para o cilindro, realizando seu movimento de avanço.

Quando o cilindro chegar ao seu avanço máximo, acionará o sensor indutivo que fechará seus contatos NA e acionará a bobina K5. Esta comutará seus contatos, acionará a eletroválvula Y2 e abrirá seus contatos NF que vai até Y1,

impedindo de vez seu acionamento. A eletroválvula Y2 comutará a válvula direcional fazendo que o cilindro recolha até a sua posição inicial

Através do botão de emergência S5 é possível interromper a qualquer momento o funcionamento do sistema, fazendo com que a haste volte a sua posição inicial a qualquer momento da operação. O relê K6 abre seu contato e mantém desacionada a eletroválvula Y1 e aciona a eletroválvula Y2, fazendo com que a haste retorne imediatamente.

Figura 52: Circuito de comando elétrico.



Fonte: Autor

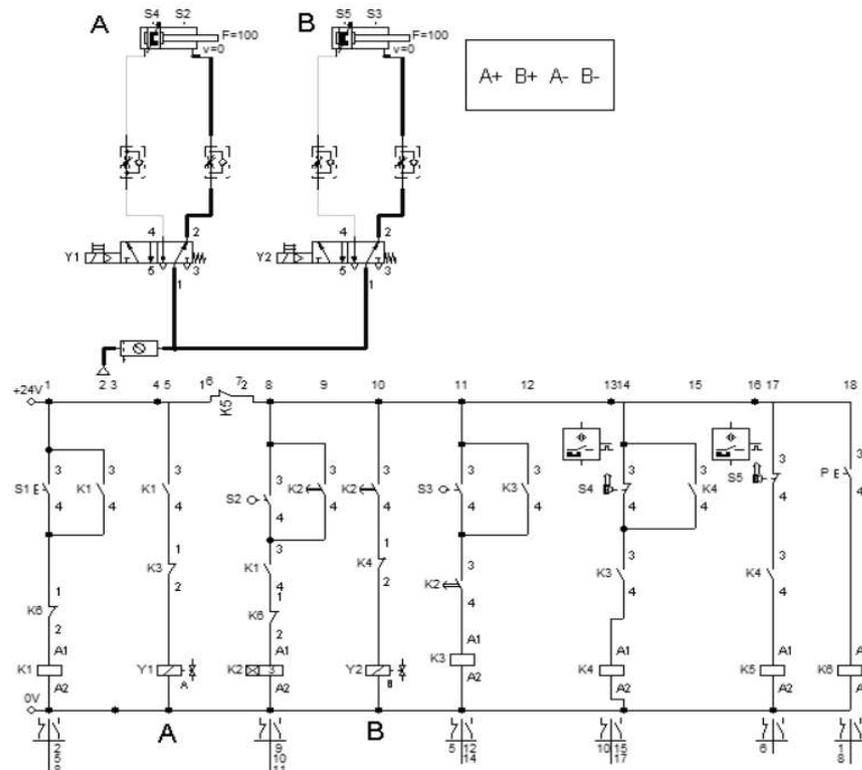
4.7 Ensaio 07

Dois cilindros de ação dupla devem completar o ciclo, A+B+A-B-, ou seja, o cilindro A deve avançar e permanecer avançado, o cilindro B deve avançar e permanecer avançado, o cilindro A recua, em seguida o cilindro B recua, obedecendo a essa sequência. Porém, eles devem fazer esses movimentos em intervalos de tempo pré-determinados, quando o cilindro A estiver em seu avanço máximo, o cilindro B aguardará três segundos até que seja acionado, quando B estiver em seu curso máximo, o cilindro A retornará à posição normal, então o B retornará seu curso e quanto chegar ao curso mínimo deverá iniciar-se novamente o ciclo, de maneira automática. O circuito deve conter um botão de parada de emergência para desenergizar todo o circuito e recuar os cilindros para o início, seja em qual posição estiverem.

Solução:

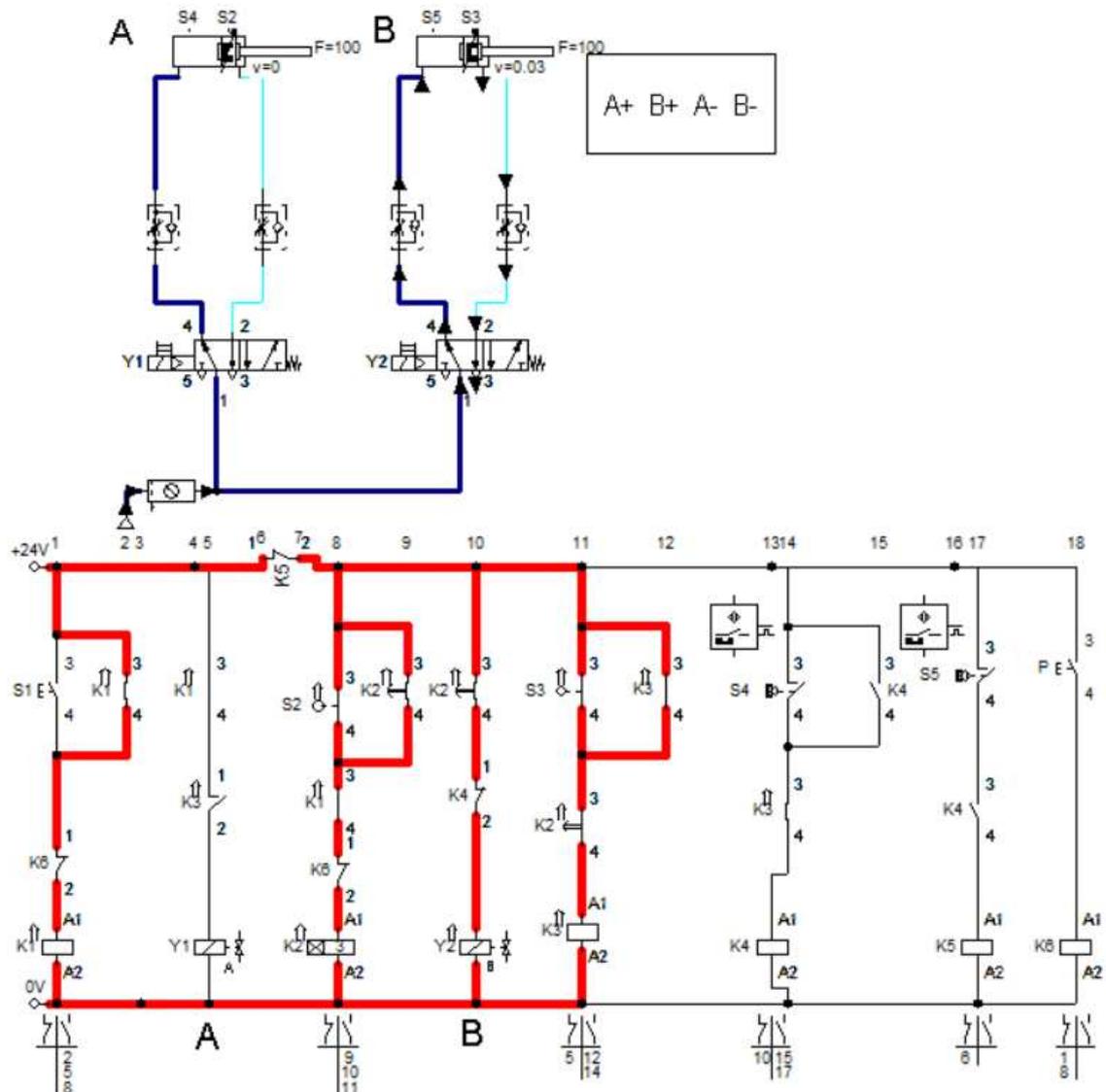
Utilizando um par de válvulas direcionais 5/2 vias, com acionamento por servo comando e retorno por mola.

Figura 53: Ensaio 07, circuito desacionado.



Fonte: Autor

Figura 54: Ensaio 07, circuito acionado.

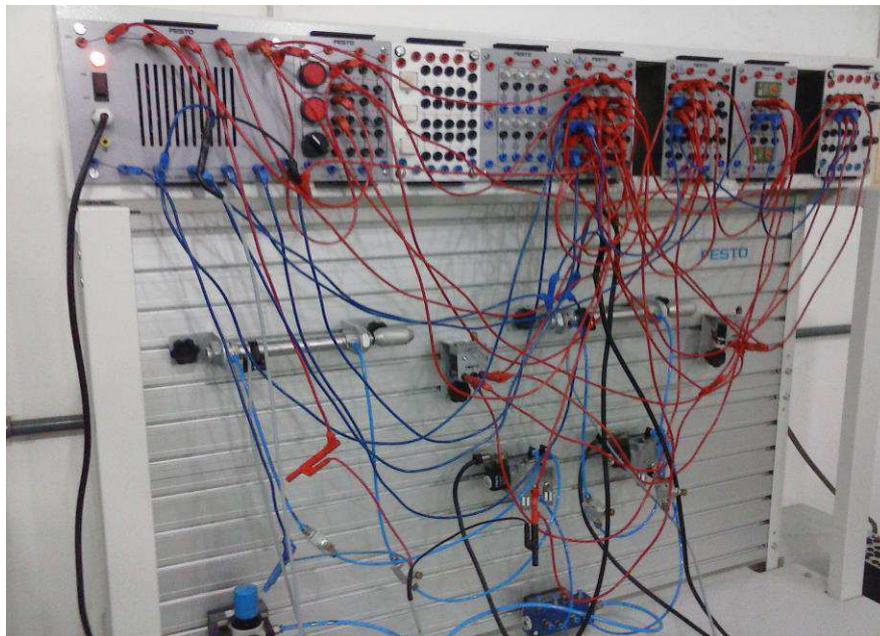


Fonte: Autor

Para dar início ao ciclo, apertamos o botão de retorno por mola S1, ele acionará o relê K1 passando pelo contato NF e K6, mesmo soltando o botão S1, o relê continuará acionado graças ao seu contato de selo K1. O Relê K1 energizará a eletroválvula Y1 através dos contatos fechados K1 e K3, esta então comutará a válvula direcional desviando o fluxo para o acionamento do cilindro A. Quando o cilindro A chegar ao fim do seu curso, acionará a válvula fim de curso S2 que

fechará seu contato, acionando o relê temporizado K2, por meio dos contatos fechados K1e K6.

Figura 55: Circuito montado.

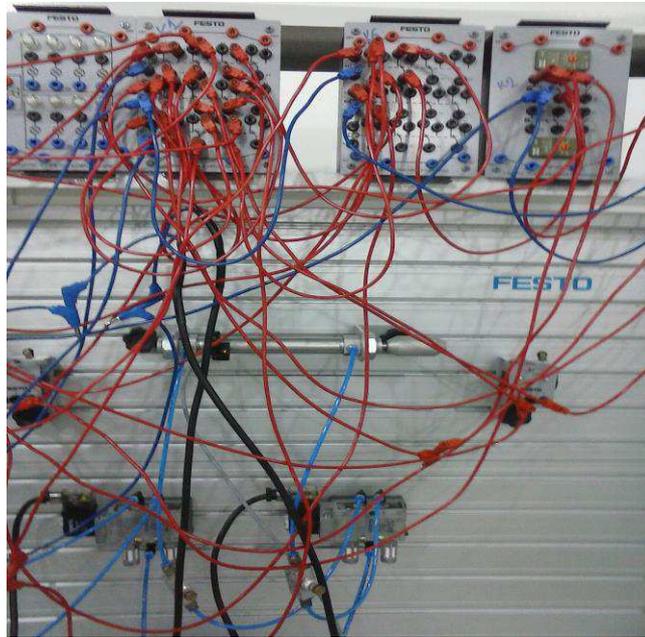


Fonte: Autor

O relê temporizado K2, irá contar um tempo de três segundos até comutar seus contatos. Ele irá fazer sua auto retenção e fechará seus contatos K2, acionando a eletroválvula Y2. Então a válvula direcional irá ser comutada direcionando o fluxo de ar para o cilindro fazendo sua haste avançar. Quando o cilindro B chegar ao fim do seu curso, encostará ao fim de curso S3, fechando seu contato NA e acionando o relê K3. O relê K3 irá realizar a comutação dos seus contatos, o contato NF de K3 é comutado para NA desligando a eletroválvula Y1, assim o cilindro A retorna a sua posição inicial graças ao retorno por mola. Quando o cilindro A chega ao seu curso mínimo, aciona o sensor indutivo S4, que irá fechar seu contato acionando o relê K4. O relê K4, então, irá comutar seu contato, acionando o relê K5 e ao mesmo tempo desenergizando a eletroválvula Y2, através de seu contato NF ligado em série. O cilindro B retorna a sua posição inicial, uma vez que fora desacionada a alimentação da eletroválvula Y2. Ao chegar ao fim, irá entrar em contato com o sensor indutivo S5 que acionará o relê K5. Este relê irá abrir seu contato NF desacionando os relés K2, K3 e K4, fechando o contato K3 ligado em série com a eletroválvula Y1, acionando novamente o cilindro A, permitindo que se inicie um novo ciclo.

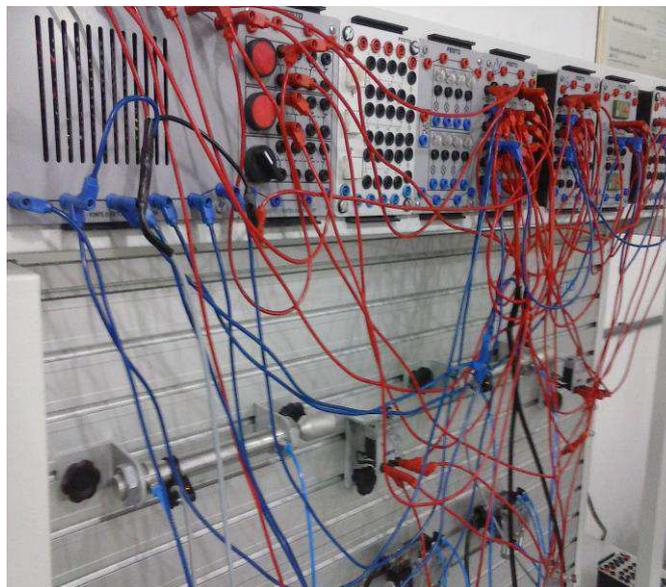
É possível desativar todo o circuito apertando o botão de emergência P, que, ao ser acionado, irá ativar o relê K6. O relê K6 irá desativar os relês K1 e K2, fazendo com que os cilindros retornem às suas posições iniciais, seja em qual for à posição que estiverem.

Figura 56: ligação elétrica



Fonte: Autor.

Figura 57: Vista geral do circuito.



Fonte: Autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automação se faz presente em todos os ramos da engenharia ou de qualquer outro ramo de atividade do âmbito industrial, então é indispensável para um graduando em engenharia mecânica ter o conhecimento dos princípios fundamentais de algum tipo de ferramenta de automação, não só a elétrica, como também a eletrônica ou lógica, por meio de CLP's. O CLP é um dispositivo eletrônico capaz de gerenciar pulsos e sinais elétricos, por meio de um software programado de acordo com cada finalidade.

Através deste trabalho, foi possível aumentar o leque de atividades que podem ser desenvolvidas no laboratório, já que normalmente tem-se trabalhado com a pneumática pura ou a hidráulica pura. Quando se fala em automação eletropneumática, se parte de uma base fundamental de mecanismos de acionamentos de cilindros, essa base foi mostrada neste trabalho, ou seja, aqui foi visto os principais modos de se começar a realizar automação. A partir destes, pode-se chegar a mecanismos de acionamentos muito mais elaborados e complexos, fazendo, claro, algumas modificações especiais.

Com os circuitos desenvolvidos, foi possível apresentar como funciona cada componente elétrico e eletrônico, bem como suas corretas utilizações. Pudemos ver o quão um sistema se torna mais rápido e eficiente, pois através de eletricidade pode-se diminuir muito o número de componentes, válvulas, de mangueiras e cabos de ligação, além de proporcionar uma maior confiança ao sistema e uma redução final nos custos com mão de obra e manutenção.

Ao realizar este trabalho no laboratório pude perceber a existência de ótimas ferramentas ideais para se trabalhar com outro sistema de automação, a eletrônica. Através dos Controladores Lógico-Programáveis, é possível montar complexos sistemas a de automação de maneira mais rápida, então este pode ser um ótimo ponto base para um possível desenvolvimento de outro trabalho de implementação em laboratório.

5.1 Sugestão para trabalhos Futuros

Como já mencionado, o laboratório de pneumática localizado no prédio do NUTENGE da UEMA, possui outro meio de realizar esquemas pneumáticos automatizados, e de maneira mais rápida e precisa ainda. Trata-se da utilização de linguagem de programação, feita através de CLP's

Sendo assim, uma sugestão seria uma pesquisa realizada com este tema, o desenvolvimento de circuitos automatizados por CLP's, aplicando a linguagem de programação.

6. REFERÊNCIAS

BONACORSO; GAUZE, **Automação Eletropneumática**, Editora Érica Ltda, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

FESTO: Introdução aos sistemas eletropneumáticos, livro didático, São Paulo, SP, Brasil, 2010.

FESTO: Manutenção de instalações e equipamentos pneumáticos, Livro Didático, , São Paulo, SP, Brasil, 2010.

FIALHO; BUSTAMANTE; ARIVELTO, **Automação Pneumática**, Editora Érica Ltda, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**, 6 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2001.

HASEBRINK, J.P, **Manual de Pneumática - Fundamentos**, Vol.1 Parte 1, Rexroth - Divisão Pneumática, Diadema, SP, Brasil, 2010.

KOSOV, Irving L. **Máquinas Elétricas e transformadores**, 8. ed. São Paulo, Globo, 1989

MEIXNER, H.; KOBLER, R. **Introdução à Pneumática**, Livro Didático, FESTO Didactic, São Paulo, SP, Brasil, 2010.

OLIVEIRA, Marcos Lucas de. **Aplicação de um método Construtivo de Pneumática**. 2012. 72f. TCC (Técnico em Automação Industrial). Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

PARKER: Eletropneumática Industrial, Apostila, , Jacareí, SP, Brasil, 1995.

SAMPAIO; CALÇADA – Física, volume único – 2ªedição – São Paulo, 2005. Atual Editora.

SOARES, Joshuah de Bragança, **Manual de Pneumática e Hidráulica**, Editora Pimenta & Cia LTDA, SP, Brasil, 1985.