



**Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba  
Escola de Engenharia de Piracicaba  
Curso de Engenharia Mecânica**



Luís Antonio Cassaroti Junior

**Automação de uma Retroescavadeira  
através do uso de *Joystick* e CLP**

Piracicaba  
2011

Luís Antonio Cassaroti Junior

## **Automação de uma Retroescavadeira através do uso de *Joystick* e CLP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MS. Marcelo Eurípedes da Silva

Piracicaba  
2011

Cassaroti Junior, Luís Antonio

C343a Automação de uma Retroescavadeira através do uso de Joystick e CLP. / Luís Antonio Cassaroti Junior - Piracicaba: Escola de Engenharia de Piracicaba, 2011.

95 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de Piracicaba – Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba, 2011.  
Orientador: Marcelo Eurípedes da Silva

1. Retroescavadeira. 2. Automação. 3. Pneumática.  
4. Joystick. 5. CLP. I. Autor. II. Título.

CDD 620.1

Luís Antonio Cassaroti Junior

## **Automação de uma Retroescavadeira através do uso de *Joystick* e CLP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Piracicaba, de novembro de 2011

### **Banca Examinadora:**

---

Marcelo Eurípedes da Silva – (Presidente)  
Mestre em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Piracicaba

---

Marcos César Ruy – (Membro)  
Mestre em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Piracicaba

---

Paulo Alberto Silveira Wrege – (Membro)  
Doutor em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Piracicaba

*Dedico este trabalho aos meus pais Luiz Antonio e Maria Elisa, à minha irmã Aline e a minha namorada Mariane*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de forma especial e carinhosa aos meus pais Luiz Antonio e Maria Elisa, à minha irmã Aline, pelo imenso esforço, crédito, determinação e luta na minha formação, onde considero heróis supremos da minha vida.

Ao meu Orientador Professor MS. Marcelo Eurípedes, onde sua incomparável competência, inspiração e esforço ao trabalho me impulsionou nesta jornada.

O especial agradecimento à família Cazarin Maresca (Gustavo, Manuela e Tia Bete) e principalmente ao meu tio Marcelo que mostrou técnica apurada nas áreas elétrica e eletrônica, onde contribuiu no meu aprendizado não somente em conhecimentos técnicos, mas também em amizade e companheirismo.

Agradeço com grande carinho ao casal Eli Basso, grande conhecedor da mecânica, e à Ivanice no qual compartilho grande apoio e acolhida em todos os momentos.

Às vezes tenho privilégios de estar ao lado de pessoas especiais como a minha namorada Mariane, que de forma carinhosa mostrou paciência e incentivo ao trabalho.

A todos os professores que ministraram as aulas durante todos esses cinco anos de curso, que contribuíram para o crescimento técnico, intelectual e psicológico.

Aos técnicos e bolsistas de laboratórios de eletrônica, hidráulica e pneumática, que contribuíram com materiais necessários para as experiências e definições nos trabalhos realizados no decorrer deste período.

No início deste curso passei dificuldades, pois trabalhar e estudar foi muito desgastantes, porém com o passar dos dias pude ver que boa parte para não dizer a maioria dos companheiros passavam por dificuldades maiores do que a minha. Então pude ver claramente que era apenas uma questão de dedicar e conseguir atingir o resultado e ele está aqui, bem em minhas mãos, só depende da minha atitude.

E hoje posso dizer claramente, em primeiro lugar agradeço a DEUS, este sim de maneira silenciosa e com gestos invisíveis colocou no meu caminho pessoas que souberam entender e ajudaram muito nesta minha formação.

“Mesmo desacreditado e ignorado por todos, não posso desistir, pois para mim, vencer é nunca desistir.”

Albert Einstein

## RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de demonstrar a tecnologia aderida na Retroescavadeira Caterpillar, o *Joystick*. A função desse controle eletrônico é de direcionar a escavação de qualquer tipo de solo com diversas aplicações através da intervenção manual do operador. O *Joystick* substitui as alavancas mecânicas, para proporcionar ao operador uma melhor ergonomia, devido a pouca mobilidade e mínimo esforço braçal, um maior espaço físico e uma melhor estética na cabine de operações. Além do trabalho manual, acrescenta-se o Controlador Lógico Programável, para que a escavação do solo seja realizada por meio automático. Para isso, foram estudados os conceitos de Retroescavadeira, Automação, cilindros, atuadores e válvulas Hidráulicas, *Joysticks* e Controladores Lógico Programáveis. No laboratório foi apresentado o sistema eletropneumático com a movimentação dos cilindros via *Joystick* e CLP. Apesar de a hidráulica apresentar tal complexidade na máquina, o funcionamento em relação à pneumática é o mesmo.

**Palavras-chave:** Retroescavadeira. Automação. Pneumática. *Joystick*. CLP.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Articulação da caçamba dianteira-----                            | 20 |
| <b>Figura 2:</b> Escavadeira traseira 420E da CAT-----                            | 21 |
| <b>Figura 3:</b> Britadeira na Retroescavadeira do BOPE -----                     | 22 |
| <b>Figura 4:</b> Caçamba traseira com pinça-----                                  | 22 |
| <b>Figura 5:</b> Estabilizadores verticais-----                                   | 23 |
| <b>Figura 6:</b> Estabilizadores com sapatas de aço-----                          | 23 |
| <b>Figura 7:</b> Cilindro com êmbolo móvel-----                                   | 27 |
| <b>Figura 8:</b> Cilindro de retorno por mola-----                                | 27 |
| <b>Figura 9:</b> Cilindro com haste simples de dupla ação -----                   | 28 |
| <b>Figura 10:</b> Cilindro de haste dupla -----                                   | 28 |
| <b>Figura 11:</b> Cilindro telescópico -----                                      | 29 |
| <b>Figura 12:</b> Componentes do cilindro -----                                   | 29 |
| <b>Figura 13:</b> Representação gráfica de vias e posições -----                  | 30 |
| <b>Figura 14:</b> Representação gráfica de passagem e bloqueio de escoamento----- | 31 |
| <b>Figura 15:</b> Válvula 2/2-----  | 31 |
| <b>Figura 16:</b> Representação do carretel deslizante -----                      | 32 |
| <b>Figura 17:</b> Válvula rotacional-----   | 32 |
| <b>Figura 18:</b> Válvula limitadora de pressão-----                              | 33 |
| <b>Figura 19:</b> Representação das válvulas de fluxo -----                       | 34 |
| <b>Figura 20:</b> Representação da válvula unidirecional com retenção -----       | 34 |
| <b>Figura 21:</b> Válvula de retenção sem mola -----                              | 35 |
| <b>Figura 22:</b> Válvula de retenção com mola-----                               | 35 |
| <b>Figura 23:</b> Válvula de retenção piloto-----                                 | 36 |
| <b>Figura 24:</b> Conversores eletromecânicos-----                                | 37 |
| <b>Figura 25:</b> Esquema interno da válvula proporcional-----                    | 38 |
| <b>Figura 26:</b> Esquema interno da servo-válvula eletro-hidráulica -----        | 39 |
| <b>Figura 27:</b> Acionadores de válvulas-----                                    | 40 |
| <b>Figura 28:</b> Parte interna do <i>Joystick</i> do Atari -----                 | 42 |
| <b>Figura 29:</b> Movimentação do <i>Joystick</i> com potenciômetro -----         | 43 |
| <b>Figura 30:</b> Potenciômetro -----   | 43 |
| <b>Figura 31:</b> <i>Joystick</i> com sensor óptico -----                         | 44 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 32:</b> Arquitetura básica do CLP -----   | 47 |
| <b>Figura 33:</b> Estrutura da linguagem <i>Ladder</i> -----                              | 55 |
| <b>Figura 34:</b> Estrutura da linguagem Blocos Lógicos -----                             | 56 |
| <b>Figura 35:</b> Cabine interna da Retroescavadeira operada por alavancas -----          | 59 |
| <b>Figura 36:</b> Cabine interna da Retroescavadeira operada por <i>Joysticks</i> -----   | 60 |
| <b>Figura 37:</b> <i>Joystick</i> da caçamba dianteira -----                              | 60 |
| <b>Figura 38:</b> Esquema elétrico do mini painel-----                                    | 62 |
| <b>Figura 39:</b> Vista superior do painel elétrico -----                                 | 62 |
| <b>Figura 40:</b> Vista inferior do painel elétrico -----                                 | 63 |
| <b>Figura 41:</b> <i>Joystick</i> modelo Atari 125 -----                                  | 64 |
| <b>Figura 42:</b> Conceito de funcionamento de um relê-----                               | 64 |
| <b>Figura 43:</b> Esquema elétrico interno do relê -----                                  | 65 |
| <b>Figura 44:</b> Conector RS - 232-----  | 65 |
| <b>Figura 45:</b> Indicação dos movimentos do <i>Joystick</i> -----                       | 66 |
| <b>Figura 46:</b> Válvulas 5/2 vias, avanço solenóide e retorno por mola -----            | 67 |
| <b>Figura 47:</b> Válvulas 5/2 vias, avanço e retorno solenóide-----                      | 67 |
| <b>Figura 48:</b> Válvulas 3/2 vias avanço solenóide e retorno por mola-----              | 68 |
| <b>Figura 49:</b> Ligação das mangueiras nas válvulas 3/2 vias -----                      | 69 |
| <b>Figura 50:</b> Cilindro com reguladores de vazão de ar -----                           | 69 |
| <b>Figura 51:</b> Ligação das mangueiras nas válvulas 3/2 vias, av. e ret. solenóide----- | 70 |
| <b>Figura 52:</b> Válvula 3/2 vias, avanço e retorno solenóide -----                      | 70 |
| <b>Figura 53:</b> Válvulas 4/3 vias -----   | 71 |
| <b>Figura 54:</b> Cilindros de dupla ação e válvulas 3/2 vias -----                       | 72 |
| <b>Figura 55:</b> Escavadeira traseira 416E da Caterpillar -----                          | 72 |
| <b>Figura 56:</b> Movimentação dos cilindros do <i>swing</i> -----                        | 73 |
| <b>Figura 57:</b> Circuito pneumático na bancada de teste Festo -----                     | 74 |
| <b>Figura 58:</b> <i>Layout</i> do circuito pneumático -----                              | 75 |
| <b>Figura 59:</b> Estrutura acabada de um CLP SIEMENS -----                               | 76 |
| <b>Figura 60:</b> CLP SIEMENS LOGO-----   | 76 |
| <b>Figura 61:</b> Movimentos dos <i>Joysticks</i> -----                                   | 78 |
| <b>Figura 62:</b> Saídas do CLP -----   | 79 |
| <b>Figura 63:</b> Numeração dos cilindros e válvulas para programação -----               | 79 |
| <b>Figura 64:</b> LEDs das saídas do CLP -----  | 80 |
| <b>Figura 65:</b> Estado inicial dos cilindros da escavadeira traseira-----               | 81 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 66:</b> Seqüência de acionamentos dos cilindros-----                   | 81 |
| <b>Figura 66:</b> Seqüência de acionamentos dos cilindros (Continuação)-----     | 82 |
| <b>Figura 67:</b> Seqüência de escavação da Retroescavadeira -----               | 82 |
| <b>Figura 67:</b> Seqüência de escavação da Retroescavadeira (Continuação) ----- | 83 |
| <b>Figura 68:</b> Programação do CLP realizada no LOGO <i>Soft Comfort</i> ----- | 85 |
| <b>Figura 69:</b> Módulo do CLP com cabos conectados-----                        | 87 |
| <b>Figura 70:</b> Indicação do cabo de energia 24 V no mini painel -----         | 87 |
| <b>Figura 71:</b> Bancada com circuito completo-----                             | 88 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função AND) -----           | 52 |
| <b>Quadro 2:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função OR) -----            | 52 |
| <b>Quadro 3:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função NAND) -----          | 53 |
| <b>Quadro 4:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função NOR) -----           | 53 |
| <b>Quadro 5:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função NOT) -----           | 53 |
| <b>Quadro 6:</b> Tabela verdade para 2 entradas (função XOR) -----           | 54 |
| <b>Quadro 7:</b> Tabela verdade para 3 entradas (função XOR) -----           | 54 |
| <b>Quadro 8:</b> Significado dos símbolos mais comuns.-----                  | 55 |
| <b>Quadro 9:</b> Estrutura da linguagem IL -----                             | 57 |
| <b>Quadro 10:</b> Estrutura da linguagem Texto Estruturado-----              | 57 |
| <b>Quadro 11:</b> Lista de materiais para montar o mini painel elétrico----- | 61 |
| <b>Quadro 12:</b> Identificação dos componentes do mini painel-----          | 63 |
| <b>Quadro 13:</b> Denominação da pinagem-----                                | 65 |
| <b>Quadro 14:</b> Materiais e equipamentos utilizados para testes -----      | 67 |
| <b>Quadro 15:</b> Função dos conectores da válvulas 4/3 vias -----           | 71 |
| <b>Quadro 16:</b> Numeração dos cilindros-----                               | 73 |
| <b>Quadro 17:</b> Elementos do circuito pneumático-----                      | 74 |
| <b>Quadro 18:</b> Programação das entradas do CLP-----                       | 77 |
| <b>Quadro 19:</b> Significado dos dispositivos -----                         | 77 |
| <b>Quadro 20:</b> Programação das saídas do CLP -----                        | 78 |
| <b>Quadro 21:</b> Materias para montagem do circuito de automação-----       | 86 |

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Fluxograma 1:</b> Processo de execução do CLP. -----          | 48 |
| <b>Fluxograma 2:</b> Seqüência do processo de verificação. ----- | 50 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**a.C.:** antes de Cristo

**CAT:** Caterpillar

**CLP:** Controlador Lógico Programável

**CPU:** *Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento)

**EPROM:** *Erasable Programmable Read-Only Memory* (Memória Programável Apagável somente de Leitura)

**EEP:** Escola de Engenharia de Piracicaba

**IHM:** Interface Homem Máquina

**IL:** *Instruction Line* (Lista de Instruções)

**JCB:** Joseph Cyril Bamford

**LED:** *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

**PROM:** *Programmable Read-Only Memory* (Memória programável só de Leitura)

**RAM:** *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório)

**ROM:** *Read Only Memory* Memória (Apenas de Leitura)

**TIE:** Tabela Imagem de Entrada

**TIS:** Tabela Imagem de Saída

**V:** Volts

**Vcc:** Voltagem Corrente Contínua

## SUMÁRIO

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                   | 18 |
| <b>2 RETROESCAVADEIRA</b>             | 20 |
| 2.1 Caçamba dianteira                 | 20 |
| 2.2 Escavadeira traseira              | 21 |
| 2.3 Estabilizadores                   | 23 |
| <b>3 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL</b>         | 24 |
| 3.1 Automação Rígida                  | 24 |
| 3.2 Automação Programável             | 25 |
| 3.3 Automação Flexível                | 25 |
| <b>4 HIDRÁULICA</b>                   | 26 |
| 4.1 Atuador hidráulico: cilindros     | 26 |
| 4.1.1 Cilindro de ação simples        | 26 |
| 4.1.2 Cilindro de ação dupla          | 27 |
| 4.1.1 Construção do cilindro          | 29 |
| 4.2 Válvulas                          | 30 |
| 4.2.1 Válvulas de controle direcional | 30 |
| 4.2.2 Válvula com carretel linear     | 31 |
| 4.2.3 Válvula rotativa                | 32 |
| 4.2.4 Válvulas limitadores de pressão | 33 |
| 4.2.5 Válvulas reguladoras de pressão | 33 |
| 4.2.6 Válvulas controladoras de fluxo | 33 |
| 4.2.7 Válvulas de retenção            | 34 |
| 4.2.7.1 Válvulas de retenção sem mola | 34 |
| 4.2.7.2 Válvulas de retenção com mola | 35 |
| 4.2.7.3 Válvulas de retenção piloto   | 36 |
| 4.3 Conversores eletromecânicos       | 36 |
| 4.3.1 Válvulas proporcionais          | 37 |
| 4.3.2 Servo-válvulas                  | 39 |
| 4.4 Acionadores das válvulas          | 40 |
| <b>5 JOYSTICK</b>                     | 41 |
| 5.1 Joystick convencional             | 41 |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2 <i>Joystick</i> analógico convencional -----                        | 42        |
| 5.3 <i>Joystick</i> digital -----                                       | 43        |
| <b>6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL -----</b>                           | <b>45</b> |
| 6.1 Componentes básico do CLP -----                                     | 45        |
| 6.2 Operação básica do CLP -----  | 47        |
| 6.2.1 Programação -----   | 47        |
| 6.2.2 Execução -----  | 48        |
| 6.2.2.1 Processo de verificação -----                                   | 49        |
| 6.3 Tipos de CLP -----  | 50        |
| 6.4 Linguagens -----  | 51        |
| 6.5 Funções Lógicas -----   | 51        |
| 6.5.1 Função “E” (AND) -----  | 52        |
| 6.5.2 Função “OU” (OR) -----  | 52        |
| 6.5.3 Função “NÃO E” (NAND) -----                                       | 53        |
| 6.5.4 Função “NÃO OU” (NOR) -----                                       | 53        |
| 6.5.5 Função “INVERSO” (NOT) -----                                      | 53        |
| 6.5.6 Função “EXCLUSIVO” (XOR) -----                                    | 54        |
| 6.6 Linguagem <i>Ladder</i> -----                                       | 54        |
| 6.7 Blocos Lógicos -----  | 56        |
| 6.8 Lista de Instruções -----   | 57        |
| 6.9 Texto Estruturado -----   | 57        |
| <b>7 ESTUDO DE CASO -----</b>   | <b>58</b> |
| 7.1 Descrição da Retroescavadeira com alavancas e <i>Joystick</i> ----- | 58        |
| 7.2 Circuito Elétrico -----   | 61        |
| 7.3 Circuito Pneumático -----   | 66        |
| 7.4 Ciclo automático utilizando CLP -----                               | 75        |
| 7.4.1 CLP -----   | 76        |
| 7.4.2 Entradas -----  | 77        |
| 7.4.3 Saídas -----  | 78        |
| 7.4.4 Chaves e botões -----   | 80        |
| 7.4.5 <i>LEDs</i> -----   | 80        |
| 7.4.6 Programação da escavação -----                                    | 80        |
| 7.5 Instalação do Circuito Eletropneumático -----                       | 86        |
| 7.6 Resultados obtidos na simulação -----                               | 88        |



|   |    |
|---|----|
| 7.7 Trabalho dos implementos da máquina no ciclo automático ----- | 89 |
| 8 CONCLUSÃO -----   | 91 |
| REFERÊNCIAS -----   | 92 |

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o homem sempre preocupou em soluções para os problemas que foram surgindo. Em uma das muitas soluções é a escavação. O trabalho braçal tinha inúmeras desvantagens como tempo, volume, precisão, conflitos, cansaço, ergonomia. Segundo Holmes (2011), em 1835, foi construído uma escavadeira movida à vapor, montada sobre os trilhos de um trem. Tinha uma concha para coletar terras, pedras, e outros materiais, que era acoplada com um braço de elevação feito de madeira para girar a concha. Esse trabalho começou nas minas, devido à grande dureza que o solo proporcionava.

Uma das máquinas de escavações mais versáteis do mundo, inventada em 1953 pelo inglês Joseph Cyril Bamford, fundador da empresa JCB, a Retroescavadeira tornou-se grande vitrine no mercado nacional, devido à ascensão do mercado de construções civis e também pela sua alta flexibilidade de trabalho.

Segundo Quadros (2004), Retroescavadeiras são máquinas de média potência, equipadas com conchas dianteira e traseira, utilizadas para operações de abertura de bueiros, redes de drenagem, infra-estruturas, carregamento de materiais nos caminhões, tendo uma capacidade aproximada de 700 litros para a concha dianteira e 300 litros para a concha traseira.

Nos últimos 30 anos, empresas como JCB, Caterpillar, Case, Volvo, John Deere, Massey Ferguson, Randon, Hyundai, Fiatallis travam uma intensa briga pela conquista do mercado de Retroescavadeiras. Para que satisfaçam e conquistem clientes, as empresas investem forte nas evoluções das máquinas como velocidade, conforto, acessórios da escavadeira (braço extensível, esmagadores, britadores, aplainadores), refrigeração, consumo de combustível, transmissão, potência, volume de carregamento e outros componentes.

A automação é um dos pilares de melhoria contínua na conquista do mercado. O exemplo de melhoria devido à automação está no trabalho desenvolvido por Piveta (2009), que mostra o considerável avanço ergonômico, visual e estético do trabalho do operador de Motoniveladora devido à instalação de *Joystick*.

Também se pode citar o trabalho de Ruano (2010), que mostra o desenvolvimento do controle remoto via rádio, para elevadores de carga tipo *Munck*, obtendo ganhos em visualização e segurança do operador, por permitir a manobra fora da cabine de operações.

O objetivo desse trabalho é de dar continuidade ao estudo realizado por Piveta (2009), aplicando Controlador Lógico Programável, o famoso CLP, sugerido pelo mesmo, em Retroescavadeiras, eliminando o uso de alavancas, aumentando o conforto, a visualização do trabalho e, além disso, o operador tem a opção de execução automática do trabalho repetitivo de escavadeira traseira, através de softwares que enviam informações configuradas pelo operador para o CLP.

O presente trabalho foi estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2, serão abordados os componentes e funcionamento de operação de Retroescavadeiras.

No capítulo 3 será mostrada a importância do conceito de automação.

No capítulo 4 descreve-se sobre os componentes da hidráulica, como cilindros que são atuadores e válvulas eletro-hidráulica.

No capítulo 5 mostra-se o funcionamento do *Joystick*.

No capítulo 6 será abordado um dos mais importantes componentes da automação industrial, o Controlador Lógico Programável.

No capítulo 7, encontra-se o estudo de caso utilizando softwares de lógica de programação, pneumática e elétrica, além do laboratório de hidráulica e pneumática para estudo prático.

## 2 RETROESCAVADEIRAS

Brain e Harris (2001) citam que a construção básica da Retroescavadeira consiste de três partes combinadas em uma, sendo que cada uma delas é em função particular do trabalho: trator, caçamba dianteira e escavadeira traseira.

A principal estrutura da Retroescavadeira é o trator.

Exatamente como os tratores que os fazendeiros usam em suas plantações, o trator da escavadeira é projetado para se movimentar facilmente sobre todos os tipos de terrenos acidentados. Ele tem um motor com turbo compressão, pneus grandes e reforçados e uma cabine com controles básicos de direção (um volante, freios, etc). As cabines da escavadeira são completamente fechadas ou têm estrutura de capota para proporcionar proteção ao operador. (BRAIN e HARRIS, 2001)

### 2.1 Caçamba dianteira

Segundo Brain e Harris (2001), a carregadeira fixada na parte frontal da Retroescavadeira serve como grande e poderosa pá de lixo ou concha, onde a grande maioria do trabalho da caçamba é voltada para materiais soltos e não terras firmes na qual teria que executar a escavação. Também se pode fazer a função de aplainamento do solo.

A movimentação da caçamba é feita através de cilindros hidráulicos no braço de sustentação da carregadeira em forma de H (1) e na concha (2). Como mostra a figura 1, os cilindros da concha movimentam o giro da caçamba para carregamento e descarregamento e os cilindros do H movimentam a subida e descida da carregadeira.



**Figura 1:** Articulação da caçamba dianteira  
**Fonte:** [www.companytractor.com.br](http://www.companytractor.com.br) (2011)

## 2.2 Escavadeira traseira

Principal componente de escavação, a escavadeira possui quatro elementos básicos de ligação para manobrar a escavação: o oscilador para girar a escavadeira (1); a longarina de sustentação da lança (2); a lança para sustentação da concha (3) e a concha conhecida como caçambinha para carregamento e descarregamento de sólidos (4), mostrados na figura 2.



**Figura 2:** Escavadeira traseira 420E da CAT  
**Fonte:** brasil.cat.com (2011)

O oscilador tem a função de girar a escavadeira com um ângulo de  $90^\circ$  para a direita e para a esquerda, totalizando  $180^\circ$  de liberdade. É conhecido como *swing*.

A longarina sustenta a lança e a caçambinha, que realiza a manobra de subida e descida da escavadeira. Tem o nome dotado de *boom*.

A lança ou *stick* realiza movimentos de inclinação, variando de acordo com o movimento do *boom* e com o auxílio do mesmo, leva força para a concha penetrar a terra.

A caçambinha tem sua função de realizar o carregamento de sólidos, onde realiza movimentos de entrada para infiltrar o solo e de retorno para descarregar o solo.

As quatro ferramentas mencionadas são componentes padrões para realizar o trabalho de escavação. Existem muitas ferramentas que podem ser adicionados na escavadeira e são adquiridas de acordo com trabalho que a máquina irá realizar. Alguns dos opcionais utilizados são o *stick* estendido, para alcançar uma profundidade maior de escavação, britadores, para realizar a quebra de sólidos (figura 3) como rochas, cimentos, pedras, além de dentes serrilhados para desbravamentos e esmagamentos, martelos hidráulicos, compactador, pinças para coleta de peças como tampa de bueiro (figura 4) e outras ferramentas.



**Figura 3:** Britadeira na Retroescavadeira do Bope  
**Fonte:** [oglobo.globo.com/rio](http://oglobo.globo.com/rio) (2009)



**Figura 4:** Caçamba traseira com pinça  
**Fonte:** [brasil.cat.com](http://brasil.cat.com) (2011)



### 2.3 Estabilizadores

Estabilizador é um componente de grande necessidade da Retroescavadeira, pois mantém o trator firme, absorve o impacto e evita tombamento da máquina. É o primeiro elemento a ser acionado pelo operador antes de trabalhar com a escavadeira. As sapatas são colocadas de acordo com o solo em que a máquina irá trabalhar. A função é ganhar atrito e evitar deslizamento. Por exemplo, no asfalto ou concreto, utiliza-se sapatas de borracha; no pedregulho, terra e areia, utiliza-se sapatas com garras de aço.

Nas figuras 5 e 6, mostra a forma construtiva de estabilizadores da retroescavadeira da JCB, em forma vertical e inclinada, ambos com sapatas de aço.



**Figura 5:** Estabilizadores verticais  
**Fonte:** cidadesaopaulo.olx.com.br (2011)



**Figura 6:** Estabilizadores com sapatas de aço  
**Fonte:** lista.mercadolivre.com.br/retroescavadeira (2011)

### 3. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Área de grande e vasto campo de atuação que engloba a mecânica, a eletrônica, elétrica, e sistemas computacionais, a automação simboliza o grande avanço da tecnologia do mundo moderno. Iniciou há muito tempo atrás com a invenção de rodas, por volta de 3500 a 3200 a.C. O objetivo do homem era minimizar o esforço físico e fazendo que as máquinas trabalhem sozinhas de acordo com a programação efetuada pelo próprio homem, liberando tempo disponível para outros afazeres (SILVA, 2007).

A automação envolve tarefas multidisciplinares com profissionais flexíveis com conhecimentos de variadas áreas. Isso pode tornar o trabalho mais complexo e de alto custo. Ou pode envolver vários profissionais especialistas em cada setor que a automação exige.

As empresas investem forte em melhoria contínua, onde a automação é um dos fatores primordiais, devido à:

- Repetibilidade e maior qualidade na produção;
- Realização de tarefas impossíveis ou agressivas ao homem;
- Rapidez nas respostas ao atendimento da produção;
- Redução de custos de produção;
- Restabelecimento mais rápido do sistema produtivo;
- Redução da área de fabricação;
- Possibilidade de introdução de sistemas produtivos interligados.

(MORAES; CASTRUCCI; 2001, pag.19)

Há três classificações de automação: a rígida, a programável e a flexível.

#### 3.1 Automação Rígida

Refere-se a equipamentos que seguem a configuração fixa, programada e configurada pelo homem. É geralmente utilizado para sistemas mais complexos, devido ao grande número de coordenadas, mas com operações simples. É utilizado, por exemplo, nas linhas de montagem, onde há grande demanda na fabricação dos produtos tornando as operações repetitivas. A automação rígida não absorve



mudanças de coordenadas, tornando inflexível. É configurada para projetar um tipo de produto. (NARDINI, 1999)

### **3.2 Automação Programável**

É projetada para absorver mudanças de coordenadas robóticas, por fabricar dois ou mais tipos de produto, adaptando diferentes configurações. É projetada para produzir de baixo a médio volume de produção. A justificativa deve pelo fato da mudança do produto ou introdução do novo produto, em que o sistema precisa ser reprogramado, as ferramentas carregadas, as máquinas preparadas. São adequadas para produção de lotes. Exemplo são robôs industriais, máquinas-ferramentas. (NARDINI, 1999)

### **3.3 Automação Flexível**

É a automação programável desenvolvida, sofisticada, complementada. Nardini (1999) destaca que a flexível foi projetada para que não ocorra perda de tempo em reprogramação, troca de ferramentas, preparação física da máquina, o que ocorre na programável. Podem ser feitos várias combinações e seqüências de uma vez para vários produtos, em vez de exigir que sejam feitos em lotes separados. É projetado para média produção. Carrega grande vantagem em produzir simultaneamente e continuamente uma grande variedade de produtos.

## 4. HIDRÁULICA

Um dos mais importantes ramos da mecânica, a hidráulica é definida com um conjunto de elementos físicos utilizando fluido como meio de transferência de energia, para transmissão de potência e movimento; a energia de entrada é convertida em energia mecânica, transformada na saída. (LINSINGEN, 2001)

Para o sistema hidráulico, existem componentes que realizam funções específicas para operar os equipamentos quando solicitados. Alguns dos mais importantes e mais comuns são os cilindros (transmitem movimento e força) e as válvulas (direcionam o fluxo do fluido)

### 4.1 Atuador hidráulico: cilindros

Tem a função de transmitir força e movimento para o equipamento através da injeção e sucção do fluido, geralmente óleo para hidráulica e ar para pneumática. A força e movimento dependem das características geométricas do cilindro, pois, trabalha em função da área e da pressão, como mostra a equação (1) a seguir:

$$F = P \cdot A \tag{1}$$

Onde,

F = Força (N)

P = Pressão (KPa)

A = Área (mm)

Segundo a Schmitt [198\_], a força é constante do início até final do percurso da haste e a velocidade depende do volume do fluido fornecido em um intervalo de tempo.

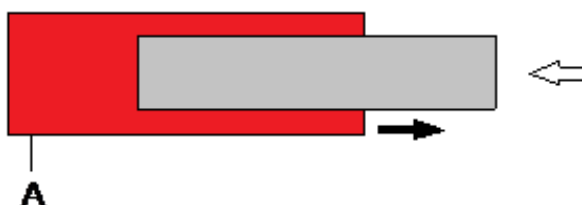
Nos próximos itens mostram-se os tipos de cilindros mais utilizados.

#### 4.1.1 Cilindro de ação simples

Existem dois tipos de cilindros de ação simples, listados a seguir:

### Êmbolo móvel

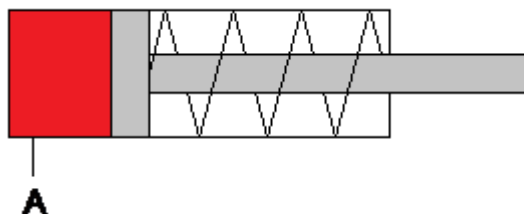
O fluido entra pela conexão A, pressiona o êmbolo que estende para fora do cilindro. Para retornar a haste, uma força externa deverá ser aplicada (SCHMITT, [198\_]).



**Figura 7:** Cilindro com êmbolo móvel  
**Fonte:** Schmitt, pag. 69

### Retorno por mola

Tem a mesma função do cilindro com êmbolo móvel, mas a força externa para o retorno é acionado por uma mola acoplada internamente. Ou seja, para avançar o cilindro, a pressão do fluido que entra pela conexão A, deverá ser maior que a rigidez da mola.



**Figura 8:** Cilindro de retorno por mola  
**Fonte:** Schmitt, pag. 69

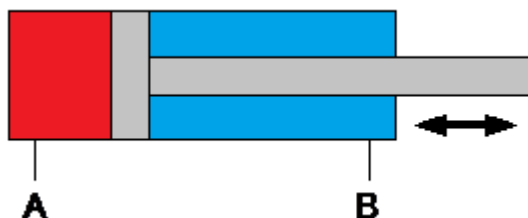
#### 4.1.2 Cilindro de ação dupla

São cilindros em que os dois lados da haste são movimentadas pela ação da pressurização do fluido, ou seja, contém dois conectores para injeção do mesmo. Podem-se citar três tipos de cilindros listados a seguir:

##### Haste simples

A haste tem o seu avanço pela pressurização do fluido na entrada A. O mesmo acontece pelo retorno, na entrada B. Se a pressão for igual para conexão A

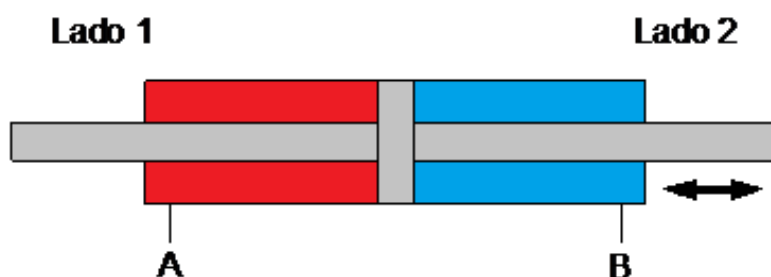
e B, então o avanço da haste terá força maior que o retorno, devido a área útil, pois, no retorno, o êmbolo tem a área subtraída pelo haste.



**Figura 9:** Cilindro com haste simples de dupla ação  
**Fonte:** Schmitt, pag. 69

### Haste Dupla

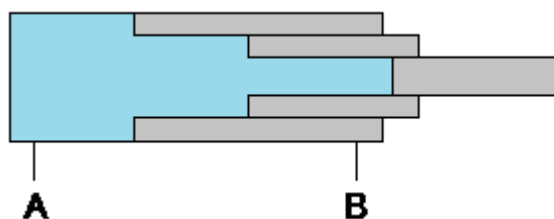
Há dois sentidos de movimentos, equivalente a duas hastes, com áreas iguais, onde a injeção do fluido pela conexão A avança a haste 2 e recua a haste 1. O acionamento pela conexão B ocorre o mesmo movimento, mas de sentido contrário.



**Figura 10:** Cilindro de haste dupla  
**Fonte:** Schmitt, pag. 69

### Cilindro telescópico

De construção diferenciada, tem grande avanço devido a ação de múltiplas hastes em montagem telescópica (figura 11). Quando acionado o fluido por A, a primeira haste de maior diâmetro é acionada. Quando esta avança totalmente, a segunda haste é acionada e assim sucessivamente. Para o retorno (B), o efeito é ao contrário. A haste de menor diâmetro é a primeira a retornar.

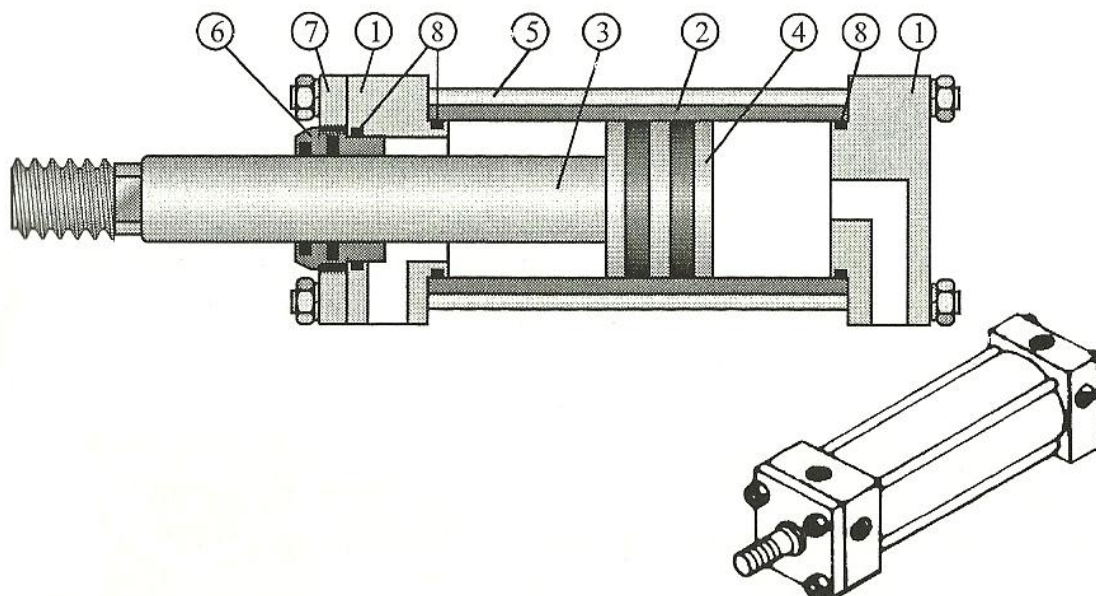


**Figura 11:** Cilindro telescópico  
**Fonte:** Schmitt, pag. 69

#### 4.1.3 Construção do cilindro

Linsingen (2001) mostra que existem diversos tipos construtivos de cilindros para diversas aplicações. Pequenos cilindros são fabricados com processo de estampagem e embutimento de chapas e grandes cilindros são fabricados pela laminação à quente ou trefilamento à frio.

Na figura 12, são mostrados os componentes do cilindro mais utilizado na indústria, pela fácil montagem, manutenção, disponibilidade no mercado. É chamado de cilindro com tirantes.



**Figura 12:** Componentes do cilindro  
**Fonte:** Linsingen,2001, pag. 197

**1 – Cabeçote e tampa de fundo:** para fixação das conexões e mangueiras, absorção de impactos e fluxo do fluido

**2 – Camisa de cilindro:** parte que mantém contato direto com o pistão para evitar vazamento interno

- 3 – Haste:** transmite movimento para o elemento mecânico acoplado
- 4 – Pistão:** guia de transmissão de força e potência quando pressionado pelo fluido
- 5 – Tirantes:** corpo de proteção da camisa do cilindro
- 6 – Guia da haste:** evita vazamento externo do fluido e desbalanceamento da haste
- 7 – Flange de fixação:** fixação do cabeçote

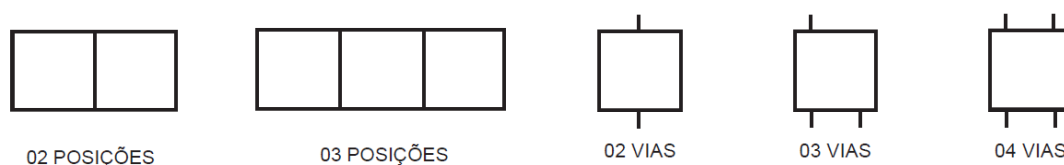
## 4.2 Válvulas

Desempenham importante função de controle e direcionamento dos atuadores. A válvula pode segurar a sobrecarga, limitar a força e o torque do fluido. Podem ser classificados em válvulas de controle de direção, pressão e vazão, descritas a seguir.

### 4.2.1 Válvulas de controle direcional

Tem a função de distribuir, desviar e interromper o fluido do sistema para realizar acionamentos em atuadores. São classificadas de acordo com o número de vias, número de posições do comando e princípios de construção.

O número de vias indica o quanto são conectadas as mangueiras na válvula e o número de posição indica o número de manobras diferentes que a válvula realiza. A figura 13 abaixo mostra alguns exemplos de representação e interpretação gráfica das válvulas.



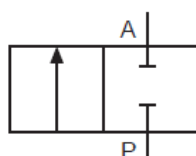
**Figura 13:** Representação gráfica de vias e posições  
**Fonte:** Parker Training, 1999, pag. 72

Pode-se encontrar na válvula direcional, vias de passagem e de bloqueio, representados da seguinte forma:



**Figura 14:** Representação gráfica da passagem e bloqueio de escoamento  
**Fonte:** Parker Training, 1999, pag. 72

Para a simbologia da hidráulica, segue como exemplo a figura abaixo:



**Figura 15:** Válvula 2/2  
**Fonte:** Parker Training, 1999, pag. 73

O desenho da figura 15 indica que é uma válvula bloqueada de duas vias e duas posições, abreviado para 2/2. A letra P é a conexão com a bomba e a letra A, a conexão com o atuador.

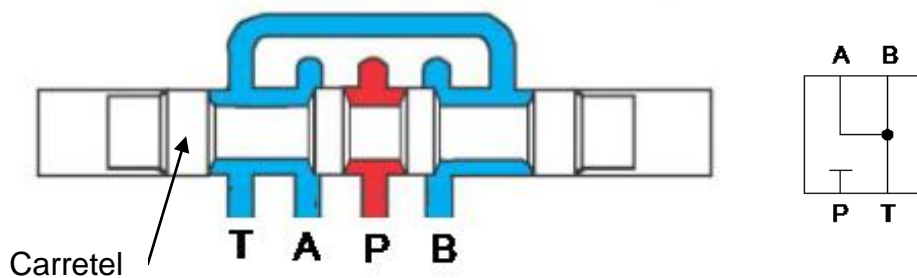
A simbologia pode ser vista através da norma NBR 10138 para construção gráfica de todo o circuito hidráulico.

#### 4.2.2 Válvula com carretel linear

A forma construtiva mais comum, o carretel trabalha com deslocamento axial dentro da furação longitudinal da carcaça da válvula com canais de passagem de fluídos, como mostra na figura 16. Os canais T (tanque), A e B (atuadores) estão livres para passagem do fluído, enquanto o canal P (bomba) está bloqueado. O carretel movimenta nessa furação para direcionar o escoamento através da movimentação de alavancas ou controles elétricos.

A justificativa para o grande uso do carretel são as vantagens que apresentam. Algumas delas são:

- Facilidade na forma construtiva;
- Pequenas perdas de carga;
- Grande número e diversidade de funções;

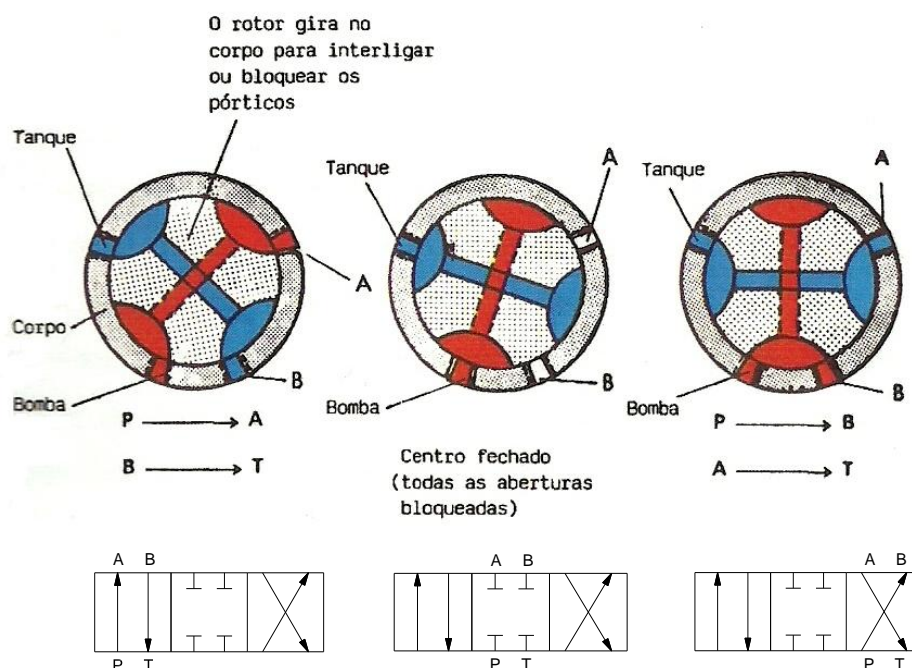


**Figura 16:** Representação do carretel deslizante  
**Fonte:** Parker Training, 1999, pag. 81

### 4.2.3 Válvulas rotativas

O carretel rotativo é controlado manualmente ou mecanicamente e comanda a passagem do escoamento através de pórticos do corpo interno da válvula, capazes de inverter o comando de atuadores como cilindros e motores devido a sua circularidade.

Na figura 17, a primeira válvula com rotor em forma de “X” tem o tanque ligado com a conexão B e a bomba ligada com a conexão A em suas extremidades, em forma de arco. Na segunda figura da válvula, o rotor muda de posição e as conexões A e B não desconectadas. No terceiro caso, as ligações são invertidas; o tanque liga a conexão A e a bomba, a conexão B.

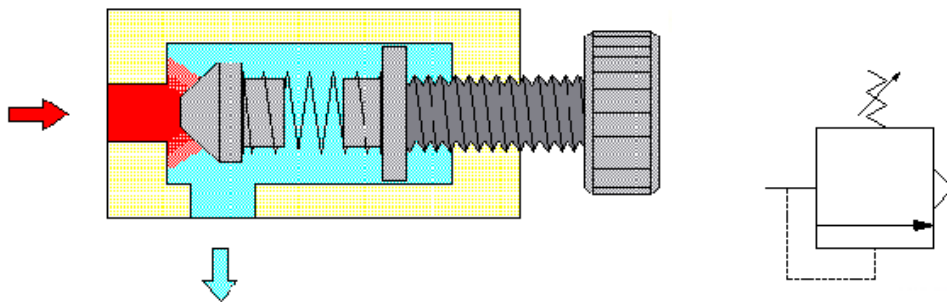


**Figura 17:** Válvula rotacional  
**Fonte:** Piveta, 2010



#### 4.2.4 Válvulas limitadoras de pressão

Segundo Linsingen (2001), válvulas limitadores de pressão são válvulas que podem fazer duas funções: quando permanece fechada, considera-se como válvula de segurança, pois paralisa o sistema e quando ajustada pela abertura, considera-se como controle de pressão do sistema todo, ou seja, a pressão é ajustada proporcionalmente pela abertura da válvula (figura 18).



**Figura 18:** Válvula de limitadora de pressão  
Fonte: [essl.home.sapo.pt](http://essl.home.sapo.pt) (2011)

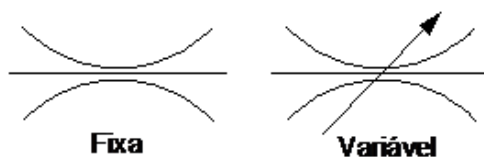
#### 4.2.5 Válvula reguladora de pressão

Piveta (2009) descreve que são normalmente abertas e ajustadas pela força da mola na saída da válvula.

“Esta válvula tem a função de manter constante a pressão de regime permanente em alguma parte do sistema por meio da redução da pressão de saída, que ocorre como consequência da perda de carga no orifício de controle da válvula, ou seja, a pressão de saída se mantém constante, menor e independente da entrada.” (PIVETA, 2009, pag. 25)

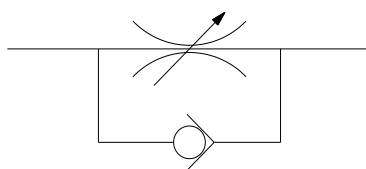
#### 4.2.6 Válvulas controladoras de fluxo

Tem a função de controlar a velocidade, por exemplo, em atuadores. É construída através de orifícios. É idêntica a uma torneira. Quanto maior a abertura, maior a vazão. O fluxo pode ser fixo (não é possível alterar a vazão, pois, a válvula contém o orifício fixo) ou variável (vazão ajustável).



**Figura 19:** Representação das válvulas de fluxo

A válvula de fluxo muito conhecida e bastante utilizada é a unidirecional com fluxo variável e retenção. A válvula permite passagem na entrada são obrigadas a passar pela estricção na saída, devido ao bloqueio da entrada (PIVETA, 2009)



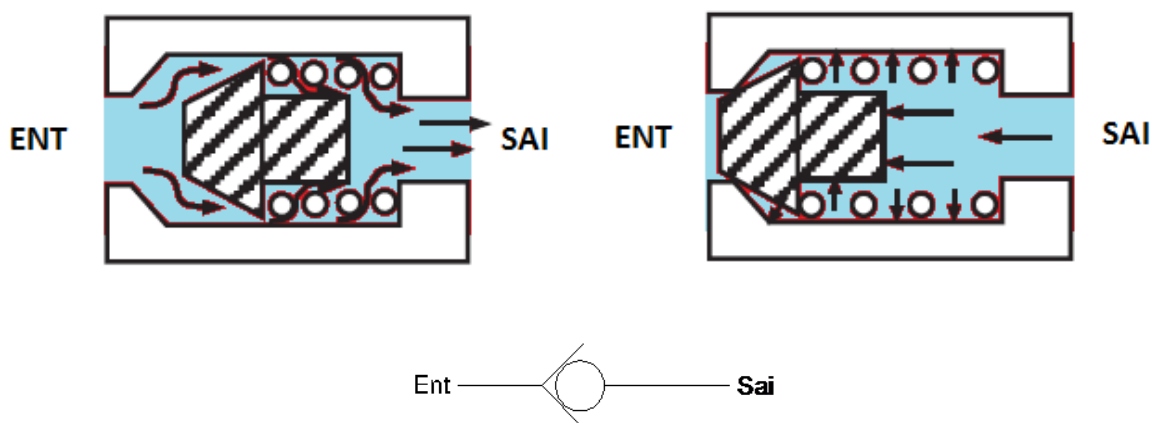
**Figura 20:** Representação da válvula unidirecional com retenção

#### 4.2.7 Válvulas de retenção

Linsingen (2001) descreve que as válvulas de retenção são os mais simples dos tipos de válvulas direcionais, pois, tem a função de apenas permitir o escoamento estar livre de um sentido e bloqueado de outro, ou seja, de uma só via (unidirecional).

##### 4.2.7.1 Válvula de retenção sem mola

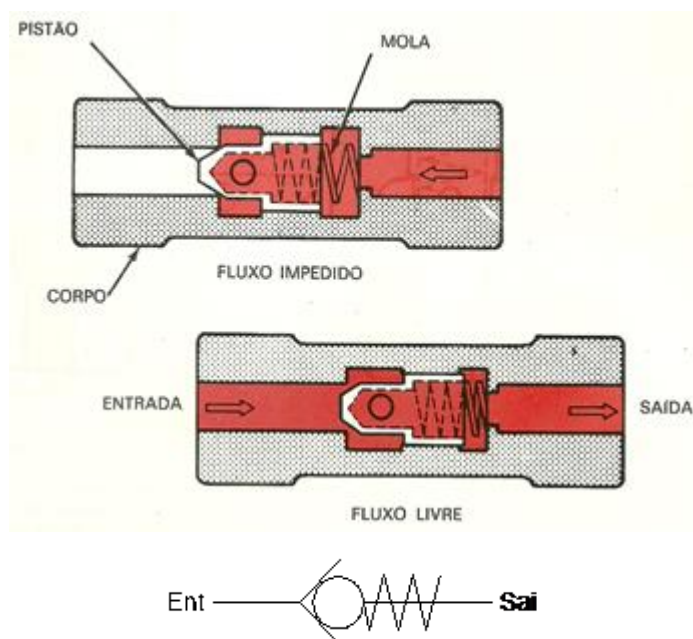
Como mostra na figura 21, a válvula de retenção é uma combinação de válvula direcional e de pressão. É operada pelo assento móvel que pode ser esférico (mais comum), cônico, disco e é preso pela mola. Quando o fluido entra em alta pressão contra o assento, suficiente para movimentar a mola, esse assento libera a passagem do fluido.



**Figura 21:** Válvula de retenção sem mola  
**Fonte:** Parker Training, 1999, pag. 86

#### 4.2.7.2 Válvula de retenção com mola

Se o fluido empurrar na via de saída, o assento fecha a via de entrada e o fluxo paralisa. Esse é o princípio de funcionamento em linha reta. Há válvulas que contém o assentamento controlado pela mola, onde faz a função de apenas permitir a passagem de um lado (quando a pressão do fluido for maior que a rigidez da mola) e bloquear de outro, como mostra na figura 22.

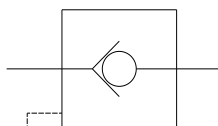
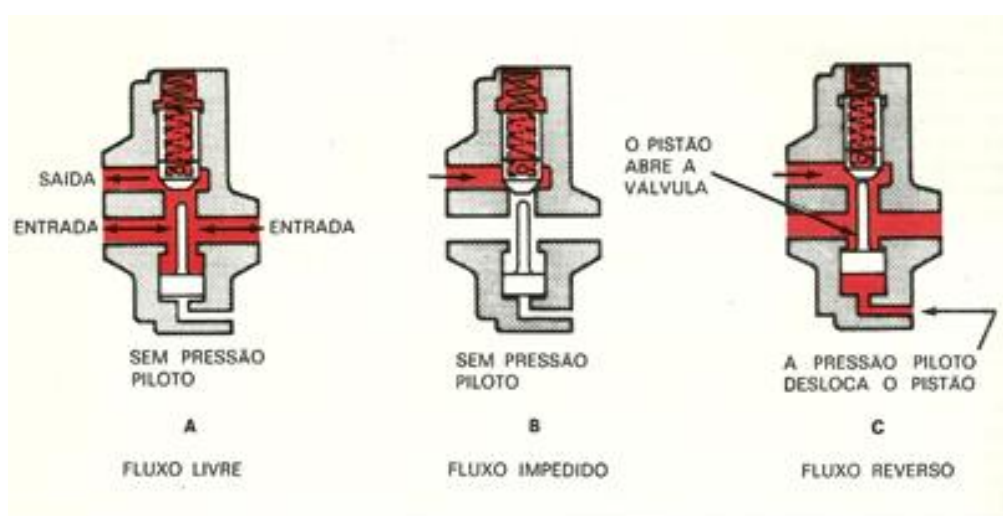


**Figura 22:** Válvula de retenção com mola  
**Fonte:** Sperry Vickers, 1983, pag. 7-3

### 4.2.7.3 Válvulas de retenção com piloto

Existem também válvulas de retenção com piloto como mostra a figura 23, representado um avanço em relação à configuração simples.

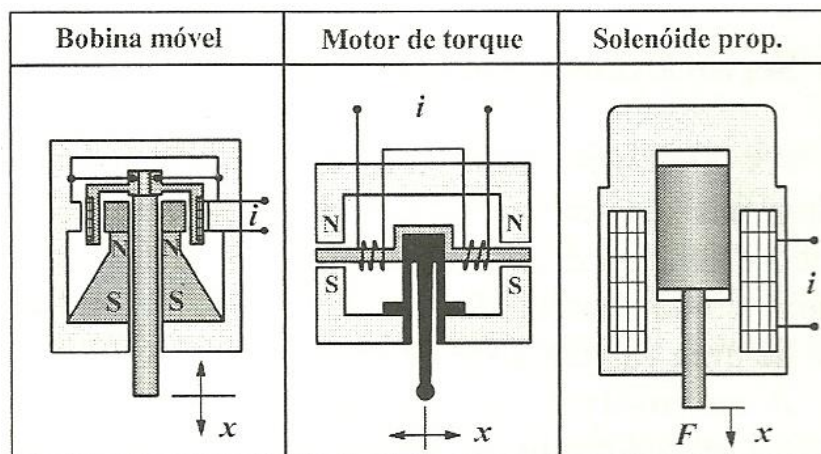
Essas válvulas foram projetadas para permitir fluxo livre num sentido e para bloquear o fluxo de retorno até o momento em que a pressão piloto desloque o pistão, e abra a válvula. São usadas como válvulas de preenchimento em prensas hidráulicas, para permitir o enchimento do cilindro por gravidade durante um avanço rápido. Também são usadas para sustentar pistões verticais que poderiam descer devido a vazamento através de carretel da válvula direcional. (SPERRY VICKERS, 1983, p. 7.5).



**Figura 23:** Válvula de retenção piloto  
**Fonte:** Sperry Vickers, 1983, pag. 7-6

### 4.3 Válvulas com conversores eletromecânicos

As válvulas são acionadas através de corrente elétrica contínua ou alternada, que alimenta a bobina para realizar o deslocamento do carretel. Os tipos de conversores eletromecânicos mais comuns são: bobina, motor de torque e solenóide proporcional (figura 24).

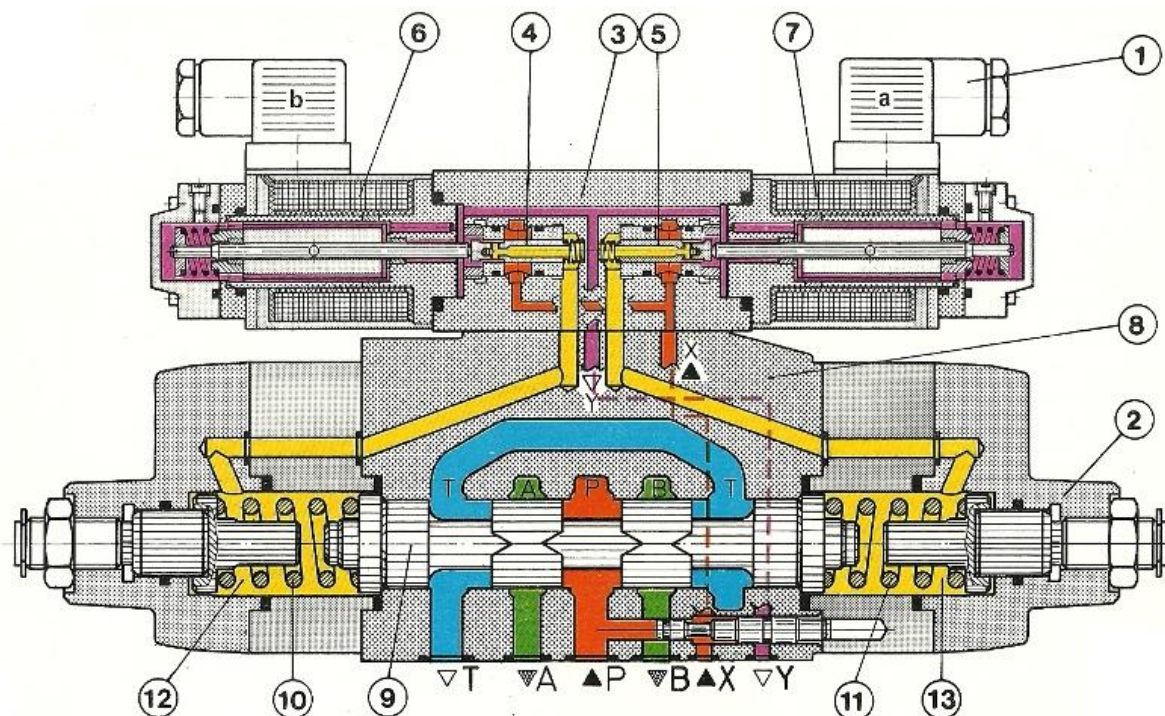


**Figura 24:** Conversores eletromecânicos  
**Fonte:** Linsingen, 2001, pag. 329

Segundo Linsingen (2001) as servo-válvulas utilizam conversores eletromecânicos de bobina móvel e motor de torque, pela grande capacidade de proporcionar elevadas freqüências de corrente elétrica obtendo maiores respostas dinâmicas. Já as válvulas proporcionais utilizam solenóides para obter maiores potências e forças de acionamento, mas com pouca freqüência de acionamento.

#### 4.3.1 Válvulas proporcionais

Possuem solenóides proporcionais ou reguláveis que recebem corrente elétrica para acionar a válvula. Quanto maior a corrente, maior a força do solenóide. Na figura 25, mostra como exemplo, a válvula direcional de quatro vias (T, A, P, B), onde o êmbolo principal (9) da válvula tem duas molas (10, 11), localizado nas suas extremidades. Se a solenóide (6 e 7) não estiver energizada, o êmbolo fica no centro da válvula. Se a solenóide A for energizada, o êmbolo pré operado (5) aciona o óleo de comando, que preenche a câmara da mola A, deslocando o êmbolo principal para a direita. Quanto maior a corrente maior o deslocamento. O mesmo ocorre para o lado esquerdo.



**Figura 25:** Esquema interno da válvula proporcional  
**Fonte:** Schmitt, pag. 143

- 1- Conector do solenóide
- 2- Carcaça
- 3- Carcaça do carretel pré-operado
- 4- Carretel pré-operado esquerda
- 5- Carretel pré-operado direito
- 6- Solenóide esquerdo
- 7- Solenóide direito
- 8- Carcaça do carretel principal
- 9- Carretel principal
- 10- Mola do carretel principal esquerda
- 11- Mola do carretel principal direita
- 12- Cavidade de preenchimento do fluido carretel principal esquerdo
- 13- Cavidade de preenchimento do fluido carretel principal direito

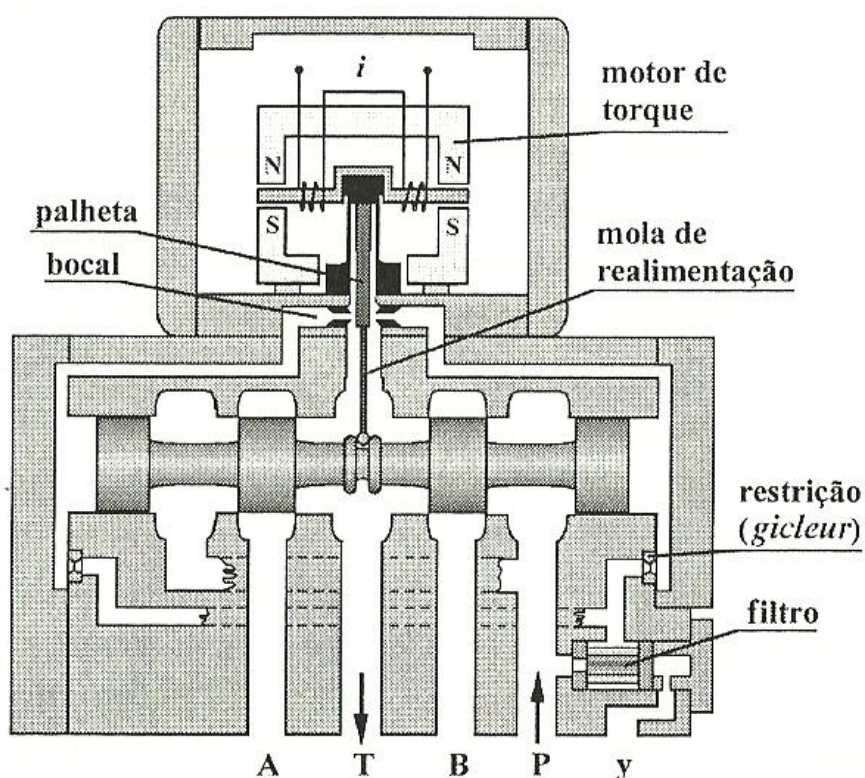
As válvulas proporcionais também trabalham em limitar a pressão e regular de vazão. É o mesmo princípio de funcionamento das válvulas mecânicas, mas os êmbolos são movimentados pela propulsão dos solenóides.



### 4.3.2 Servo-válvulas

Pequenos sinais elétricos são enviados na entrada e são transformados em grandes potências na saída. Schmitt coloca como exemplo o volante de automóvel, que com pequeno esforço para girar o volante é transformado em grandes forças nas rodas.

As servo-válvulas são comandadas por um sinal elétrico aplicado em um motor de torque que gera deformação na palheta. Esta palheta está posicionada entre dois orifícios os quais apresentam uma vazão. Vazões estas que controlam as pressões dinâmicas aplicadas sobre dois lados do carretel, posicionando-o. O carretel por sua vez controla a intensidade e o sentido da vazão enviado ao atuador, de acordo com a posição do mesmo. (PEDRON, 2006, p. 23)



**Figura 26:** Esquema interno da servo-válvula eletro-hidráulica  
**Fonte:** Linisingen, 2001, pag. 332

#### 4.4 Acionadores das válvulas

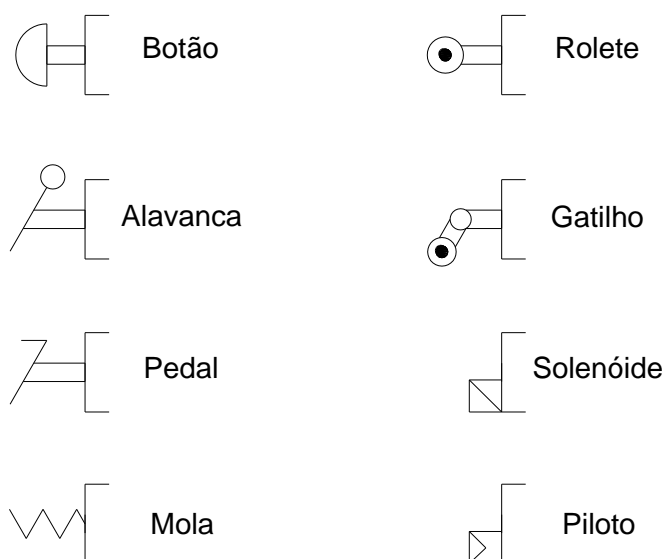
Para Walker (2010), as válvulas trabalham com agentes externo para deslocar as posições internas, alterando, direcionando ou bloqueando o fluxo do fluido. Os elementos para acionamento podem ser manual, mecânico, pneumático ou elétrico (figura 27).

**Acionamento manual:** acionado diretamente pelo operador por meio de botoeiras, pedal e alavancas.

**Acionamento mecânico:** tais elementos como pinos, rolete, gatilho são acionados por um contato mecânico, advindas de máquinas, robôs, fim de curso, mola.

**Acionamento pneumático:** a ação do ar comprimido trabalha como piloto que, por ação de um pistão interno, pode pressurizar e despressurizar o ar, para movimentar as posições da válvula

**Acionamentos elétricos:** trabalham através de corrente elétrica, energizando solenóides e bobinas por ação de um temporizador, termostato, pressostato, fim de curso, controladores programáveis etc.



**Figura 27:** Acionadores de válvulas  
**Fonte:** Apostila Hidráulica (2008)



## **5. JOYSTICK**

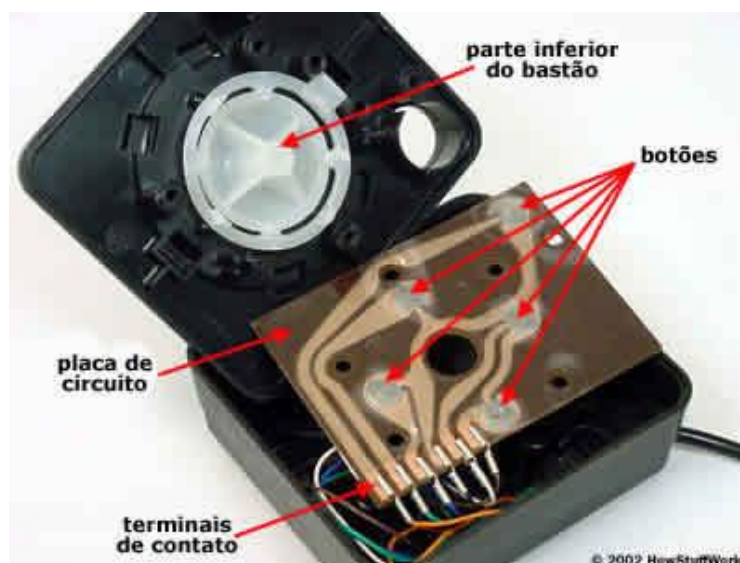
Dispositivo eletrônico que contém alavanca e botões para controle e transmissão de movimento, usados para jogos de computador e vídeo game, cadeira de rodas, indústrias, carros, elevadores, submarinos, máquinas, aviões e outras aplicações. Contém placa impressa de fio para transmitir sinal do comando e executar os movimentos desejados. Caracteriza pelo avanço tecnológico na automação, devido à estética, menor ocupação de espaço físico, ergonomia e sistema eletrônico.

Segundo Segalia (2006), o francês matemático e físico Robert Esnault-Pelterie é considerado mito da tecnologia aeroespacial, pois, introduziu diversas aeronaves, amortecedores nas rodas nos aviões, cinto de segurança além de outras aplicações. Mas, o mais notório foi a criação do manche ou volante de avião, no século 20. As alavancas eram verticais e os movimentos longitudinais.

Segundo o site inglês The Titi Tudorancea Bulletin (2010), por volta de 1944, o primeiro joystick eletrônico foi utilizado pelos alemães, na Segunda Guerra Mundial, para direcionar o míssil Henschel Hs 293 contra alvos navios, possuindo interruptores via rádio para direcionar o alvo.

### **5.1 Joystick convencional**

O princípio de funcionamento é simples. Um pequeno disco metálico fixado na ponta do bastão entra em contato com fitas metálicas impressas na placa alojada em baixo do bastão (figura 28), para passagem de corrente elétrica quando entram em contato. Quando o bastão é movimentado para frente, o contato elétrico encaminha o sinal para realizar o movimento para frente; assim também para esquerda, direita e para baixo. Alguns joysticks traduzem movimentos em diagonal, quando fecha o contato simultaneamente em duas direções do bastão, como, por exemplo, para frente e direita.



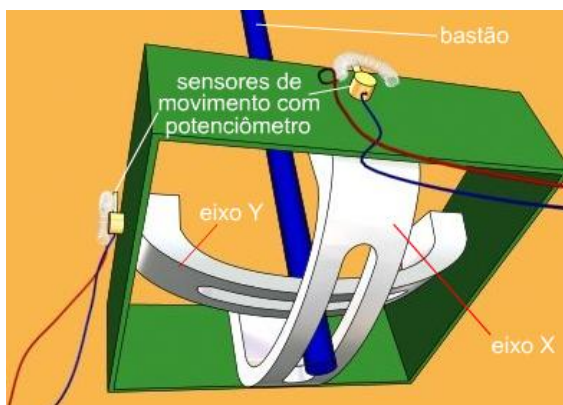
**Figura 28:** Parte interna do *Joystick* do Atari  
**Fonte:** eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick (2002)

## 5.2 *Joystick* analógico convencional

Harris (2002) ressalta que joysticks convencionais seriam ideais para jogos como Tetris ou Pac Man e limitante para alguns jogos como simuladores de voo, pois, o controle convencional reconhece apenas valores absolutos e não gradações sutis.

Então foi construído joystick para fornecer valores diferentes quando movimentamos em uma determinada direção. O controle padrão tem dois arcos com ranhura passante no meio de cada arco, para colocar o bastão. Os arcos são fixados nas pontas da estrutura do joystick, em eixo X – Y, fazendo que o bastão movimente os dois arcos. Na fixação, são colocados sensores de movimentos com potenciômetro, para detectar a força desejada do movimento (ver figura 29)

Harris (2002) explica que o potenciômetro consiste de um resistor em forma de bobina curva, com um braço de contato móvel, onde a movimentação do mesmo que está em influência com a bobina determina o fluxo de corrente elétrica através da resistência (ver figura 30). Cada potenciômetro está conectado ao arco fixado na estrutura do joystick, onde qualquer movimento do bastão faz girar o braço de contato, devido à sintonia dos arcos em coordenada X – Y.



**Figura 29:** Movimentação do *Joystick* com potenciômetro  
**Fonte:** eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick (2002)



**Figura 30:** Potenciômetro  
**Fonte:** eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick (2002)

### 5.3 *Joystick* digital

Harris (2002) explica que existe um conversor que manipula os dados para possibilitar a leitura do sinal analógico para o digital. “A idéia é usar a voltagem variável proveniente de cada potenciômetro para carregar o capacitor – um dispositivo elétrico simples que armazena eletricidade”.

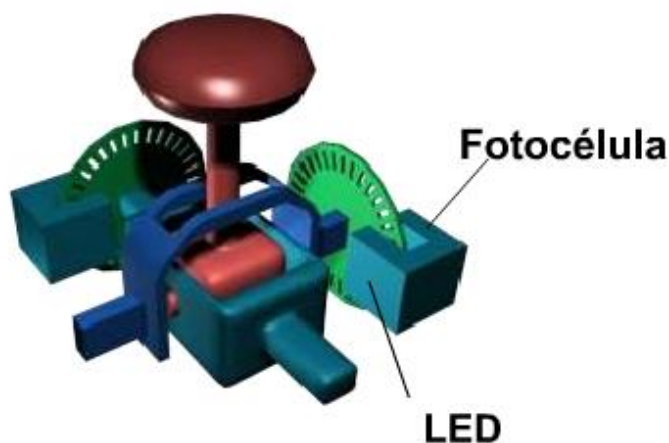
Quanto maior a resistência oferecida ao capacitor, maior o tempo para carregar e quanto menor resistência, menor o tempo para carregar.

“Ao descarregar o capacitor e então cronometrar quanto tempo leva para ser recarregado, o conversor pode determinar a posição do potenciômetro e, portanto do joystick. A taxa de recarga é uma medida numérica que o computador pode reconhecer. Ele efetua essa operação sempre que necessita obter uma leitura de um joystick.” (HARRIS, Tom, 2011, <http://eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick5.htm>).

Essa conversão era muito limitada, pois a precisão da taxa de recarga era baixa, comprometendo a sensibilidade do joystick. Harris (2002) explica que o

computador perde muita capacidade de processar a verificação da posição do bastão, pois dedica muito tempo para apurar o sinal. Para solucionar o problema, criaram um chip, para realizar a conversão sinal analógico para o digital. Um pequeno processador fica embutido no joystick para realizar a conversão, que resultou a eliminação da carga do processador no computador e aumentando a precisão do controle.

Há manches que não possuem o potenciômetro, pois foram substituídos pelos sensores ópticos. O processador capta o sinal do joystick em forma de pulsos de correntes. Harris (2002) explica que o controle é conectado por duas rodas com várias ranhuras em torno de si. Nessas ranhuras atravessa o LED (*Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz), que conforme movimenta a roda, o LED pisca na outra face que recebe a luz, a fotocélula, gerando pulsos de corrente, devido ao bloqueio e passagem do feixe de luz, como mostra a figura 31. Através das informações da fotocélula (quantidade de pulso de corrente), o processador localiza a posição do bastão.



**Figura 31:** Joystick com sensor óptico  
**Fonte:** eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick (2002)

## 6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Para Silva (2006), o Controlador Lógico Programável ou CLP pode ser definido como um equipamento eletrônico e digital que manipula o processador para realizar aplicações industriais. O primeiro CLP também conhecido como PLC (*Programmable Logic Controller*), foi utilizado pela primeira vez na *General Motors*, em 1968.

O CLP foi inventado devido a necessidade de substituir o quadro elétrico comandados por vários relês, pois, todas as vezes que alterava o produto, o quadro de relês também deveria ser alterado, o que gerava custos para a fabricante de carro que chegava a ficar dias ou semanas para alterar o quadro elétrico . Melhorar o custo sempre foi a filosofia das empresas, o que caracterizou a automatização dos processos de fabricação.

A implementação do CLP trouxe grandes mudanças no processo de fabricação. Entre elas são:

- Fácil diagnóstico durante o projeto;
- Economia de espaço devido ao seu tamanho reduzido;
- Não produzem faíscas;
- Podem ser programados sem interromper o processo produtivo;
- Possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas;
- Baixo consumo de energia;
- Necessita de uma reduzida equipe de manutenção;
- Tem flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas;
- Capacidade de comunicação com diversos outros equipamentos.

(SILVA; 2006, pag.2)

### 6.1 Componentes básicos do CLP

O CLP é formado por uma fonte de alimentação, uma Unidade Central de Processamento (CPU), sistema de memória e circuitos elétricos de entrada e saída (figura 32).

- **Fonte de alimentação:** fornece energia elétrica para o CPU e os circuitos de entrada e saída.
- **CPU:** possui microprocessador que é o principal articulador de controle de informações tais como interrupção, gerenciamento de dados da memória e

dos dispositivos de entrada e saída e execuções das funções. Além disso, comanda os circuitos de controle e comunicação.

- **Sistema de memória:** local onde armazena os dados programados e manipulados pelo usuário. As memórias podem ser voláteis e não-voláteis. Memórias voláteis são aquelas que perdem o conteúdo quando é desconectada ou perdida a energia elétrica. Memória não-voláteis são aqueles que não perdem o conteúdo com a perda de energia.

Os tipos de memória encontrado no CPU são: memória RAM, ROM, EPROM e PROM.

**RAM** – memória de acesso livre, a RAM é um programa de aplicação onde são processados os dados lidos e recém digitados; a memória RAM armazena pequenas quantidades de dados e tem armazenamento temporário, com a presença de pequenos acumuladores de energia elétrica (bateria de *backup*). Quando o usuário efetuar a gravação, os dados serão direcionados para a ROM ou EPROM. É classificada como memória volátil. (PRUDENTE, 2007)

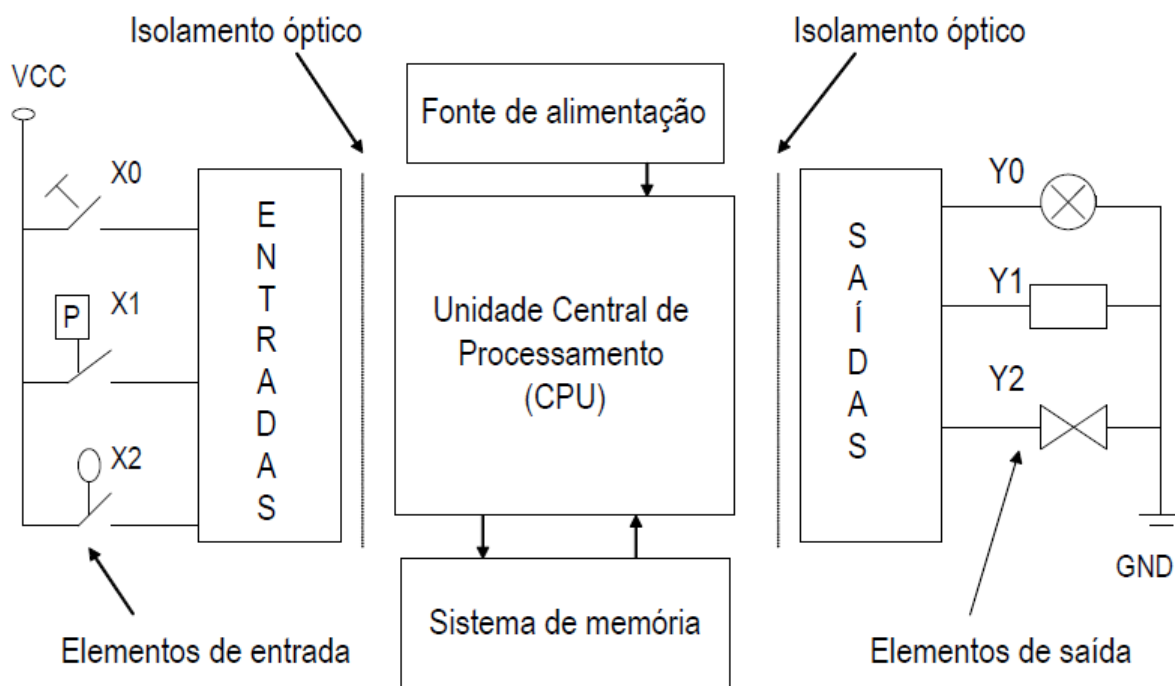
**ROM** – memória apenas para leitura, onde o fabricante que introduz ao CLP grava e armazena permanentemente as informações uma única vez, sendo impossível de ser alterada. Serve apenas para leitura em acesso na operação. Caracterizada como memória não-volátil. (PRUDENTE, 2007)

**EPROM** – ao contrário da ROM, a EPROM é uma memória reprogramável, ou seja, o conteúdo pode ser gravado e apagado com auxílio do aparelho específico, tornando muito mais prático e flexível. (PRUDENTE, 2007)

**PROM** – muito pouco usada, esse tipo de memória especial armazena permanentemente os dados da memória RAM, sendo programável uma única vez.

- **Circuitos de entrada:** São informações enviadas pelo usuário ou dispositivos como sensores, botões, controles, chave fim de curso, termostato, pressostato (C. COSTA, 2011)

- **Circuitos de saída:** são respostas das informações enviadas pelo circuito de entrada que podem ser alarmes, válvulas, relês luzes, contatores. (C. COSTA, 2011)



**Figura 32:** Arquitetura básica do CLP  
**Fonte:** C. Costa, 2011

## 6.2 Operação Básica do CLP

O usuário define o programa de aplicação na memória RAM que será enviado para a memória ROM ou EPROM. O CPU coleta as informações armazenadas na memória para executar os comandos do circuito de entrada e saída e assim realizando uma lógica de controle.

Para operar o CLP, há duas maneiras: programação e execução.

### 6.2.1 Programação

Segundo Franchi e Camargo (2008), “o CLP não executa nenhum programa, isto é, fica aguardando para ser configurado ou receber novos programas ou até receber modificações de programas já instalados”. Ou seja, o homem configura no

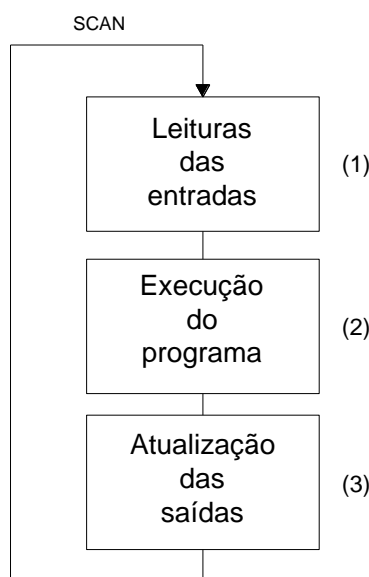
CLP, as informações que o mesmo terá que executar posteriormente. Nomeia programa fora de operação, conhecido com *off-line*.

### 6.2.2 Execução

Conhecido com *on-line*, esse tipo de programa passa a exercer as tarefas que o usuário programou. Há CLPs destinados a sofrer alterações durante a execução.

Franchi e Camargo (2008) descrevem os três processos de execução do CLP. Estes trabalham em ciclos de leitura, chamados de *scan*, como mostra a seqüência abaixo e também no fluxograma 1

1. Realização da leitura, através dos dispositivos de entrada;
2. Execução do programa armazenado na memória ROM ou EPROM;
3. Reedição ou atualização dos dispositivos de saída.



**Fluxograma 1:** Processo de execução do CLP

**Fonte:** Franchi; Camargo, 2008, pag.39

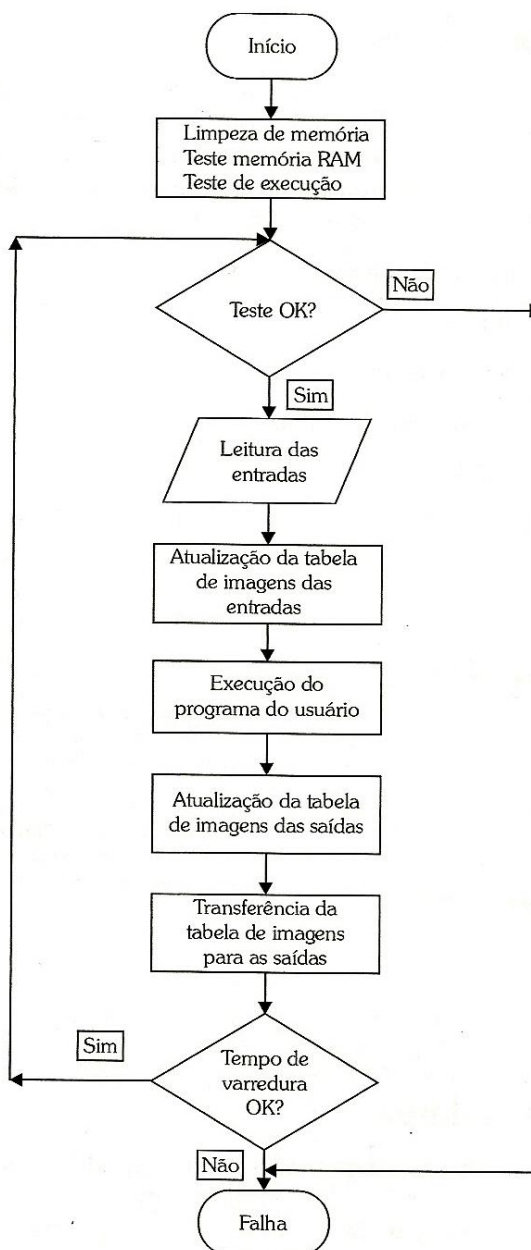
Antes de realizar o ciclo descrito acima, o CLP contém um sistema de verificação seqüencial integrado no CPU, para que não possa apresentar falhas durante o processo.



### 6.2.2.1 Processo de verificação

O CLP efetua a inicialização do sistema, realizando uma espécie de varredura. A seqüência abaixo, planejada por Franchi e Camargo (2008) descreve o caminho que o sistema realiza como mostra no fluxograma 2.

1. **Limpeza e teste.** É realizada a varredura e teste da memória de imagem (RAM). Posteriormente é realizado o teste de execução do programa;
2. **Leitura das entradas.** O CPU detecta os dispositivos e coleta o estado do sistema de entrada;
3. **Atualização tabela de imagens da entrada.** As informações coletadas pelo CPU são enviadas para a memória chamada TIE (Tabela Imagem das Entradas);
4. **Execução do programa do usuário.** Através do resultado do TIE, é verificada uma lógica de entrada e saída interna. Essas informações de lógica são enviadas para a TIS (Tabela Imagem das Saídas);
5. **Atualização tabela de imagens da saída.** O CPU executa uma varredura na TIS e atualiza os valores de saídas externas (dispositivos);
6. **Transferência tabelas de imagens para saída.** Na finalização da atualização da TIS, são transferidos os valores para o cartão de saídas, onde se comanda o envio de sinais;
7. **Tempo de varredura.** É o tempo gasto para completar o ciclo completo. Se o tempo ultrapassar o limite, o programa será interrompido e anunciará erro.



**Fluxograma 2:** Seqüência do processo de verificação  
**Fonte:** Franchi; Camargo, 2008, pag. 41

### 6.3 Tipos de CLP

Podem ser compactos ou modulares. O CLP compacto é aquele que o usuário tem acesso somente ao circuito de conexão de entradas e saídas, que geralmente são usados para CLP de pequeno porte. O CLP modular é aquele que contém vários módulos, permitindo a configuração da quantidade e combinação de entradas e saídas.

Segundo Silva (2006), os CLPs podem ser classificados de acordo com sua capacidade. Siga a classificação:

**Nano e micro CLPs:** possuem 16 entradas e saídas, com um único módulo e capacidade de armazenar 512 passos na memória.

**CLPs de médio porte:** possuem 256 entradas e saídas, analógico e digital, com capacidade de armazenar 2048 passos na memória.

**CLPs de grande porte:** possui módulo com entrada e saída digital e analógica, especializadas e conexão com a rede local, tem capacidade de até 4096 entradas e saídas. O tamanho da memória é otimizado pelo operador.

## 6.4 Linguagem

O CLP tem a linguagem específica para entender os comandos que o usuário os envia. Contêm simbologias, comandos, sinais, blocos, etc. A linguagem é incorporada de acordo com o fabricante. Para que o CLP possa entender as necessidades do usuário, existem as funções lógicas, onde os técnicos programam no CPU para que o software reconheça os comandos e sinais. Existem linguagens gráficas e de texto. Segundo L. Costa (2010), as linguagens mais utilizadas são:

**Linguagem gráfica:** Ladder, Blocos Lógicos, SFC (*Sequence Function Chart*)

**Linguagem textual:** Lista de instruções, Textos estruturados, Linguagem de alto nível (Pascal, Basic, C)

Nesse capítulo, serão resumidas as explicações das linguagens Ladder, Blocos lógicos, Lista de Instruções e Textos estruturados.

## 6.5 Funções lógicas

O CPU segue uma lógica de comandos para poder executar corretamente o trabalho. Se um motor elétrico trabalhasse em dois sentidos de rotação, horário e anti-horário, o software entende que não é possível trabalhar em dois sentidos de rotação ao mesmo tempo, pois o fabricante determinou as funções no circuito lógico que o sinal é enviado apenas para trabalhar em um sentido. É a mesma lógica utilizada no CLP.

Silva (2006) explica que a função lógica, que é estudada na área de Técnicas Digitais, é melhor representada na construção da Tabela Verdade, que pode ser definida como uma representação de combinações lógicas de entradas e saídas. A seguir, explica cada uma das funções, com a Tabela Verdade, adotando duas entradas. Os números de entradas variam de acordo com a capacidade do CLP. As linguagens compreendidas pelo CLP são utilizadas em funções lógicas para realizar o trabalho.

### 6.5.1 Função “E” (AND)

A saída é ativada se todas as entradas forem ativadas (quadro 1).

| Tabela verdade para 2 entradas |    |    |
|--------------------------------|----|----|
| I1                             | I2 | Q1 |
| 0                              | 0  | 0  |
| 0                              | 1  | 0  |
| 1                              | 0  | 0  |
| 1                              | 1  | 1  |

**Quadro 1:** Tabela verdade para 2 entradas (função AND)  
**Fonte:** Silva, 2006, pag.10

### 6.5.2 Função “OU” (OR)

A saída é ativada se qualquer entrada for ativada (quadro 2)

| Tabela Verdade para 2 entradas |    |    |
|--------------------------------|----|----|
| I1                             | I2 | Q1 |
| 0                              | 0  | 0  |
| 0                              | 1  | 1  |
| 1                              | 0  | 1  |
| 1                              | 1  | 1  |

**Quadro 2:** Tabela verdade para 2 entradas (função OR)  
**Fonte:** Silva, 2006, pag.11

### 6.5.3 Função “NÃO E” (NAND)

Se uma das entradas for desativada, a saída será ativada (quadro 3)

| Tabela verdade para 2 entradas |    |    |
|--------------------------------|----|----|
| I1                             | I2 | Q1 |
| 0                              | 0  | 1  |
| 0                              | 1  | 1  |
| 1                              | 0  | 1  |
| 1                              | 1  | 0  |

**Quadro 3:** Tabela verdade para 2 entradas (função NAND)  
**Fonte:** Silva, 2006, pag.11

### 6.5.4 Função “NÃO OU” (NOR)

Se todas as entradas forem desativadas, a saída é ativada (quadro 4)

| Tabela verdade para 2 entradas |    |    |
|--------------------------------|----|----|
| I1                             | I2 | Q1 |
| 0                              | 0  | 1  |
| 0                              | 1  | 0  |
| 1                              | 0  | 0  |
| 1                              | 1  | 0  |

**Quadro 4:** Tabela verdade para 2 entradas (função NOR)  
**Fonte:** Silva, 2006, pag.12

### 6.5.5 Função “INVERSORA” (NOT)

Se a entrada é ativa, a saída é automaticamente desativada. O mesmo ocorre de forma contrária. Essa função serve apenas para uma entrada e uma saída.

| Entrada | Saída |
|---------|-------|
| 0       | 1     |
| 1       | 0     |

**Quadro 5:** Tabela verdade para 1 entradas (função NOT)  
**Fonte:** www.eletronicadigital.com (2010)

### 6.5.6 Função “EXCLUSIVO” (XOR)

Se as entradas estiverem com o número ímpar ativado, a saída será ligada.  
Se as entradas estiverem com os números pares ativados, a saída será desligada.

| Entrada |   | Saída |
|---------|---|-------|
| A       | B | S     |
| 0       | 0 | 0     |
| 0       | 1 | 1     |
| 1       | 0 | 1     |
| 1       | 1 | 0     |

**Quadro 6:** Tabela verdade para 2 entradas (função XOR)  
**Fonte:** www.eletronicadigital.com (2010)




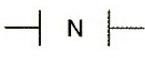

| Entrada |   |   | Saída |
|---------|---|---|-------|
| A       | B | C | S     |
| 0       | 0 | 0 | 0     |
| 0       | 0 | 1 | 1     |
| 0       | 1 | 0 | 1     |
| 0       | 1 | 1 | 0     |
| 1       | 0 | 0 | 1     |
| 1       | 0 | 1 | 0     |
| 1       | 1 | 0 | 0     |
| 1       | 1 | 1 | 1     |

**Quadro 7:** Tabela verdade para 3 entradas (função XOR)  
**Fonte:** www.eletronicadigital.com (2010)

## 6.6 Linguagem *Ladder*

Foi a primeira linguagem adquirida pelo CLP. Segundo Georgini (2008), esse tipo de linguagem é caracterizado pela simbologia gráfica de comandos elétricos, como bobina, contator, relê. Como o CLP substituía os comandos elétricos dos relês, os técnicos e engenheiro adotaram graficamente essa linguagem para dar continuidade ao conhecimento de lógica em comandos elétricos e evitar uma grande mudança cultural.

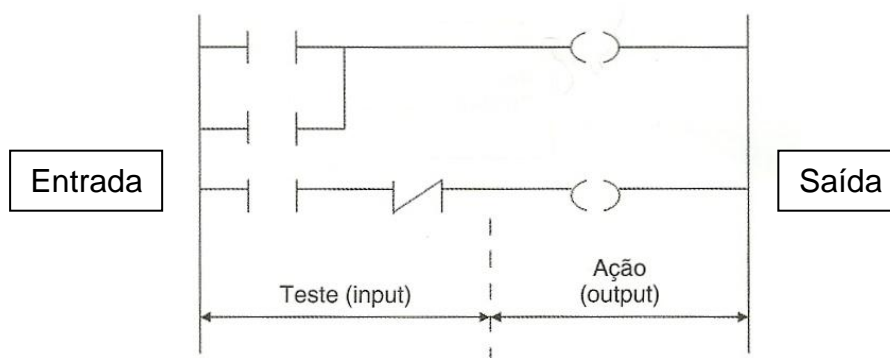
Prudente (2007) descreve que *Ladder* significa “escada”, devido à construção do circuito gráfico parecer uma escada. Para construir os comandos através de simbologias, existe a norma para padronização, entre elas, a Norma IEC 61131-3, que é a mais usada. No quadro 8, mostra o significado de alguns símbolos.

|   |  |
|---|--|
|  | Contato ON, normalmente aberto                             |
|  | Contato OFF, normalmente fechado                           |
|  | Contato detector de transição positiva (porta de subida)   |
|  | Contato detector de transição negativa ( porta de descida) |
|  | Variável externa ou interna (saída)                        |

**Quadro 8:** Significado dos símbolos mais comuns  
**Fonte:** Prudente, 2007, pag. 41

Prudente (2007) descreve o sistema da linguagem *Ladder*, como mostra na figura 33, explicando da seguinte forma:

- Na linha vertical à esquerda, simboliza a barra de alimentação (pólo positivo da fonte de energia), que comanda todos os elementos de input;
- Na linha vertical à direita (pólo negativo), simboliza o retorno e comanda todos os elementos de saída, caracterizado como output;
- Na zona de teste (input), que a conexão é feita por vários elementos em série e paralelo, aberta e fechada, de acordo com o sistema;
- Na zona de ação (output), o sistema é destinado às variáveis de saída.



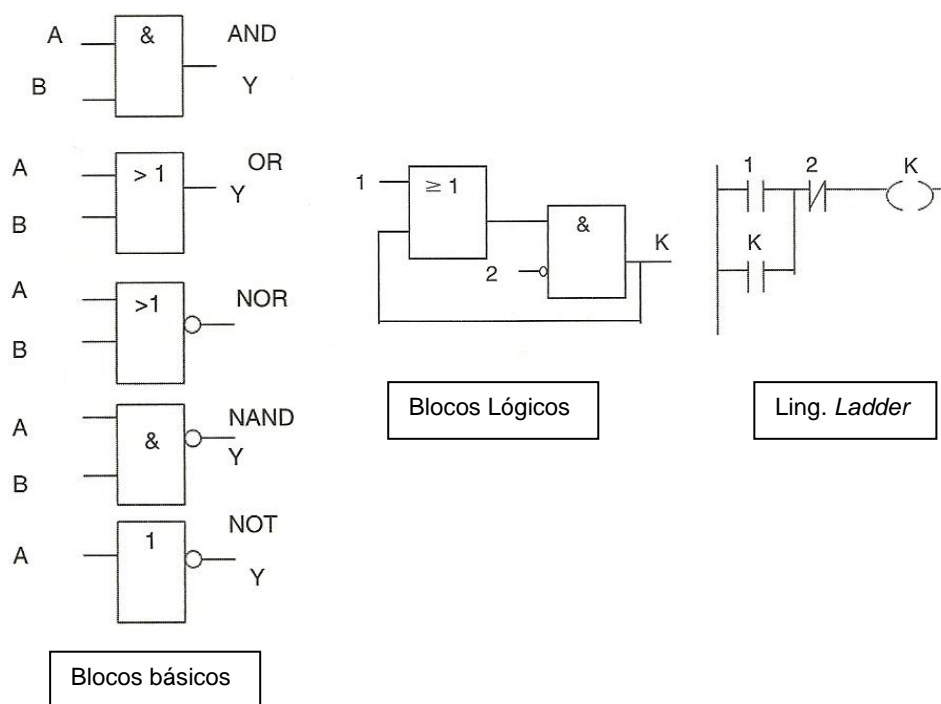
**Figura 33:** Estrutura da linguagem *Ladder*  
**Fonte:** Prudente, 2007, pag. 40

## 6.7 Blocos Lógicos

A segunda linguagem para programação do CLP utiliza blocos funcionais com texto estruturado embutido dentro do próprio bloco. Profissionais com conhecimento em eletrônica digital trabalham com mais facilidade, devido a linguagem ser graficamente parecido com os símbolos utilizados na eletrônica.

Conforme Franchi e Camargo (2008), os blocos trabalham de forma hierárquica, construindo os blocos mais complexos através da construção de blocos menores e simples. Por ser uma linguagem versátil e poderosa, foi criada uma norma, a IEC 61499, para incluir instruções específicas para essa linguagem.

Dentro desses blocos, contém as funções lógicas programadas pelo técnico. A leitura de trabalho do CLP é o mesmo da linguagem *Ladder*, mudando apenas a estrutura de programar. Na figura 34 são apresentados os blocos básicos utilizados pelos técnicos e um pequeno circuito comparativo de Blocos Lógicos e *Ladder*, apenas para demonstração da montagem do circuito.



**Figura 34:** Estrutura da linguagem Blocos Lógicos

**Fonte:** Prudente, 2007, pag. 41

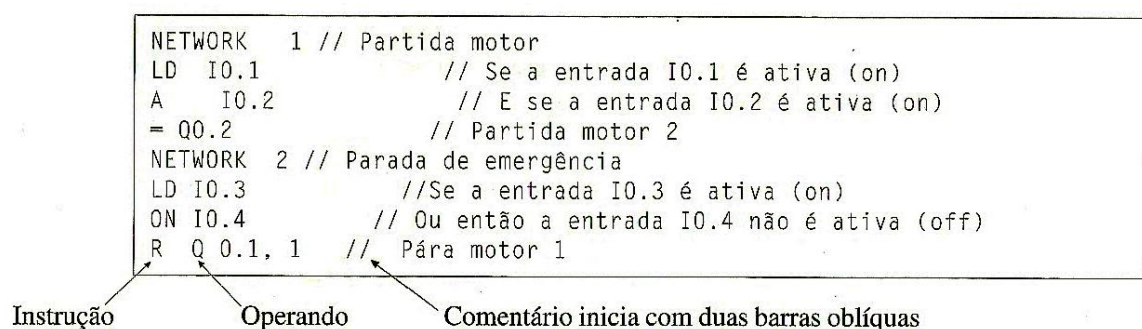


## 6.8 Lista de Instruções

Prudente (2007) destaca que é uma linguagem bastante potente e a mais fácil para o CLP “entender”, pois, não precisa ser convertido em códigos, como ocorre com as linguagens gráficas.

L. Costa (2010) complementa que é a linguagem mais fácil de programar e de aprender, diferente da estrutura, que é mais complexa e técnica.

No quadro 9, mostra a estrutura da linguagem IL:



**Quadro 9:** Estrutura da linguagem IL

**Fonte:** Prudente, 2007, pag. 38

## 6.9 Texto Estruturado

L. Costa (2010) explica que essa linguagem tem sido bastante utilizada no diagrama de blocos lógicos, por ser flexível. É construído um texto dentro do bloco como código para o software entender. É a linguagem com leitura informática, considerada uma das mais potentes. Segue o exemplo modelado por L. Costa (2010).

```

IF BOTÃO_LIGA THEN
    LIGA_MOTOR_1;
    VELOCIDADE=50;
ENDIF;

IF BOTÃO_DESLIGA THEN
    DESLIGA_MOTOR_1;
    VELOCIDADE=0;
ENDIF;

```

**Quadro 10:** Estrutura da linguagem Texto Estruturado

**Fonte:** www.sorocaba.unesp.br (2010)

## 7 ESTUDO DE CASO

O objetivo desse estudo é o de simular o acionamento de uma retroescavadeira através do uso de *Joystick*, pois a tecnologia é patenteada pela Caterpillar, e, portanto o acesso às informações é restrito. Com isso, pretende-se entender um pouco mais dessa tecnologia, que une a mecânica e a eletrônica, no intuito de alcançar maior produtividade, ergonomia e segurança nesse tipo de máquina de construção. Além de simular o circuito eletro-hidráulico necessário para esse tipo de acionamento, acrescenta-se também, a título do estudo, um Controlador Lógico Programável (CLP) ao sistema, que por sua vez irá controlar o ciclo de escavação automático.

O estudo de caso foi realizado com a utilização dos equipamentos contidos nos laboratórios de Hidráulica, Pneumática e Eletrônica da Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP).

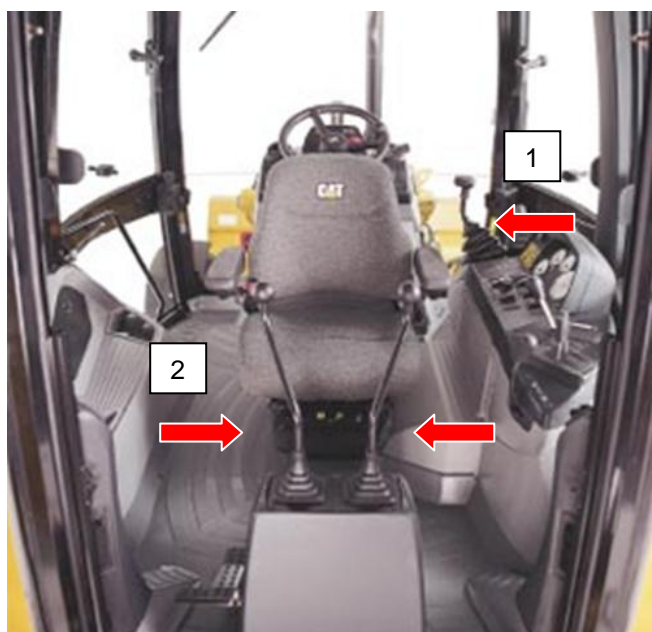
Como foi dito, o sistema de acionamento proposto neste trabalho é composto por seis partes: a retroescavadeira com alavancas e *Joystick*, o circuito elétrico, o circuito pneumático, a programação da escavação através de CLP, a instalação do circuito eletropneumático e o estudo do ciclo automático. Nos próximos itens cada um desses subsistemas é explicado separadamente.

### 7.1 Descrição da Retroescavadeira com alavancas e Joystick

A Retroescavadeira nacional série 416E é operada através de alavancas mecânicas, ligadas diretamente nas válvulas, como mostra a figura 35. A válvula da escavadeira traseira trabalham em conjunto com 6 válvulas, onde cada uma delas é de 4/3 vias, com acionamento por alavancas no avanço e retorno do cilindro e retorno para o repouso por mola. Essa válvula é conhecida como Válvula *Hoe* que significa enxada, em alusão à escavadeira traseira fazer o trabalho parecido com a ferramenta que cava terra e mistura argamassa. Há outra válvula instalada na máquina que trabalha para a caçamba dianteira, em conjunto com duas válvulas, uma de 6/3 vias e outra de 4/2 vias. Recebe o nome de Válvula de Carga.

Em ambas as válvulas, o esforço para movimentar as alavancas é significativo a ponto de prejudicar ergonomicamente os braços do operador, que trabalha várias horas por dia, sendo exigida do mesmo uma grande força para manobrar as alavancas de comando. Ao acionar o cilindro, a alavanca exerce uma força sobre a mola, e esta por sua vez apresenta uma reação, exercendo uma força contrária a alavanca para retornar à sua posição original (repouso). O maior esforço manual está na Válvula de Carga (1), pois a alavanca tem dimensão inferior comparada com as alavancas da Válvula *Hoe* (2).

A fim de evitar o problema descrito acima, a Caterpillar lançou uma nova série de Retroescavadeiras, das séries 420E, 430E e 450E. Elas são produzidas na Inglaterra e são fabricadas com os implementos controlados por *Joystick*, como mostra nas figuras 36 e 37 (escavadeira traseira e caçamba dianteira, respectivamente). A máquina com *Joystick* leva vantagem em relação a máquina com alavancas de comando, pois ocupa menos espaço na cabine de operações, tem uma melhor estética e principalmente uma melhor ergonomia, pois, com o *Joystick*, o esforço é mínimo, já que o movimento consiste apenas na ação de se encostar os contatos do mesmo. Mas leva em desvantagem pelo custo de instalação, pois exige adicionalmente componentes eletrônicos, válvulas eletropneumáticas, mão de obra qualificada e manutenção especializada.



**Figura 35:** Cabine interna da Retroescavadeira operada por alavancas  
**Fonte:** br.viarural.com (2011)



**Figura 36:** Cabine interna da Retroescavadeira operada por *Joysticks*  
**Fonte:** Brain e Harris (2001)



**Figura 37:** *Joystick* da caçamba dianteira  
**Fonte:** [alcongosta.olx.pt/caterpillar-432](http://alcongosta.olx.pt/caterpillar-432) (2011)

## 7.2 Circuito Elétrico

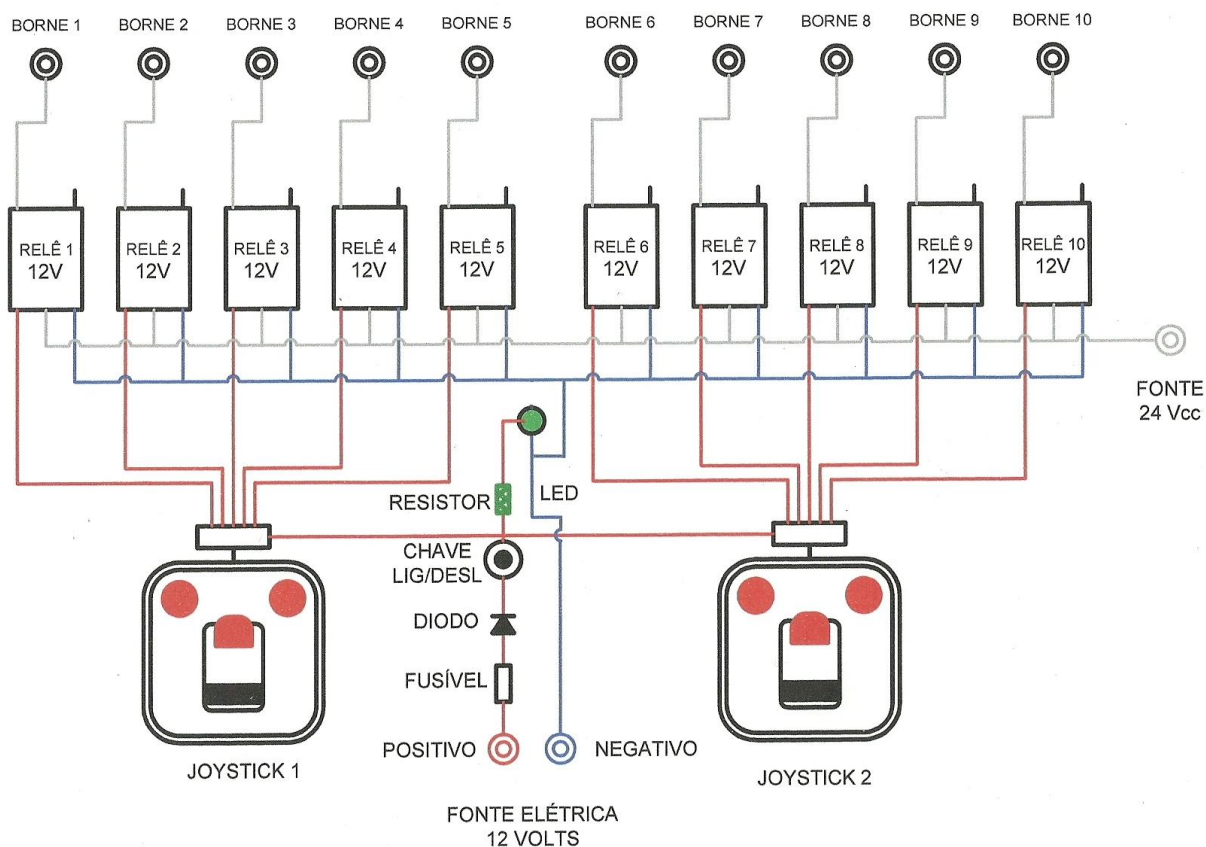
O circuito elétrico normalmente é separado em potência e comando, conforme Silva (2007), pois geralmente os elementos de comando trabalham com baixa corrente elétrica, enquanto os elementos de potência trabalham com alta corrente elétrica. Desse modo, para permitir o acionamento dos solenóides das válvulas eletropneumáticas, os quais trabalham com uma corrente maior (potência) através do *Joystick*, que trabalha com uma corrente menor (comando), foi necessário montar um mini painel elétrico. Para montar o painel elétrico, foi feito o desenho do esquema elétrico conforme figura 38, utilizando os materiais citados do quadro 11.

| Qtd   | Elemento                | Qtd | Elemento              |
|-------|-------------------------|-----|-----------------------|
| 2     | Joystick                | 1   | Suporte painel        |
| 10    | Relês 12 Volts          | 13  | Bornes                |
| 1     | Chave Tecla Lig/Desl    | 2   | Conector RS - 232     |
| 1     | Resistor 400 k $\Omega$ | 23  | Cabos                 |
| 1     | Fusível 1 A             | 1   | Fonte elétrica 24 Vcc |
| 60 cm | Fio elétrico            | 1   | Fonte elétrica 12 V   |
| 1     | LED                     | 1   | Diodo                 |

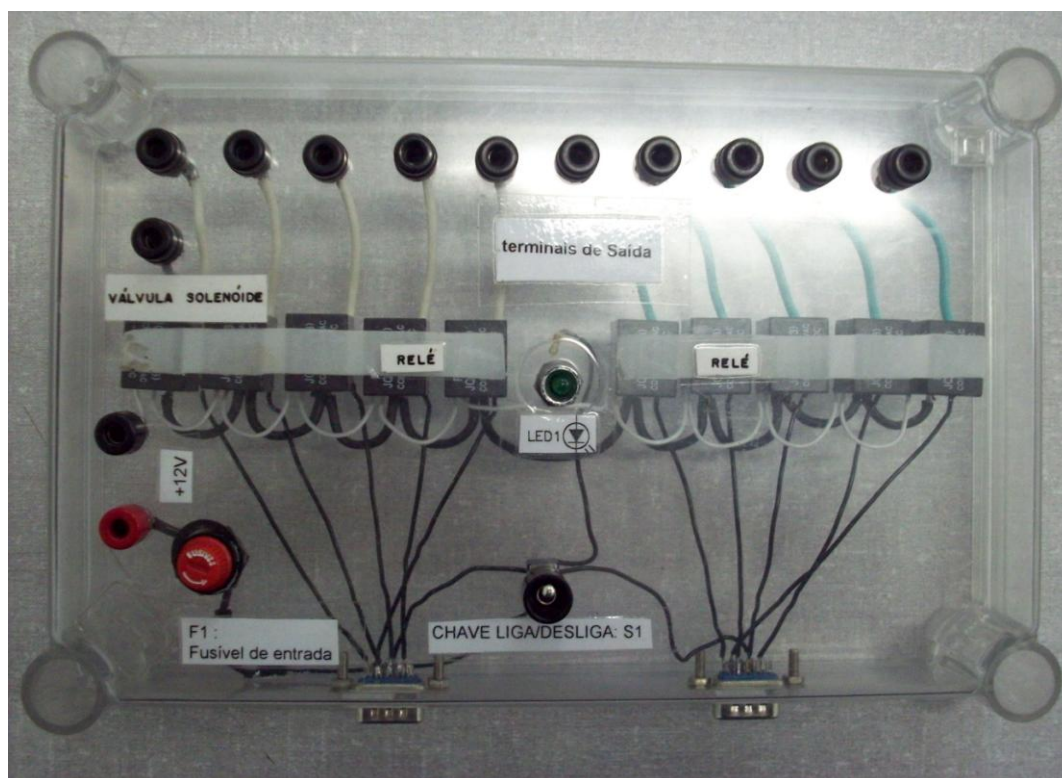
**Quadro 11:** Lista de materiais para montar o mini painel elétrico

O mini painel foi montado com auxílio de equipamentos tais como furadeira, para encaixe dos bornes, LED, chave tecla, fusível e conector RS – 232, utilizando lixa fina para eliminar rebarbas, além da soldagem de estanho e fita 3M dupla face para fixação dos fios e componentes eletrônicos. As figuras a seguir demonstram a estrutura do mini painel, uma referente à vista superior (figura 39) e a outra referente à vista inferior (figura 40). No quadro 12 são identificados os elementos numerados na figura 40.

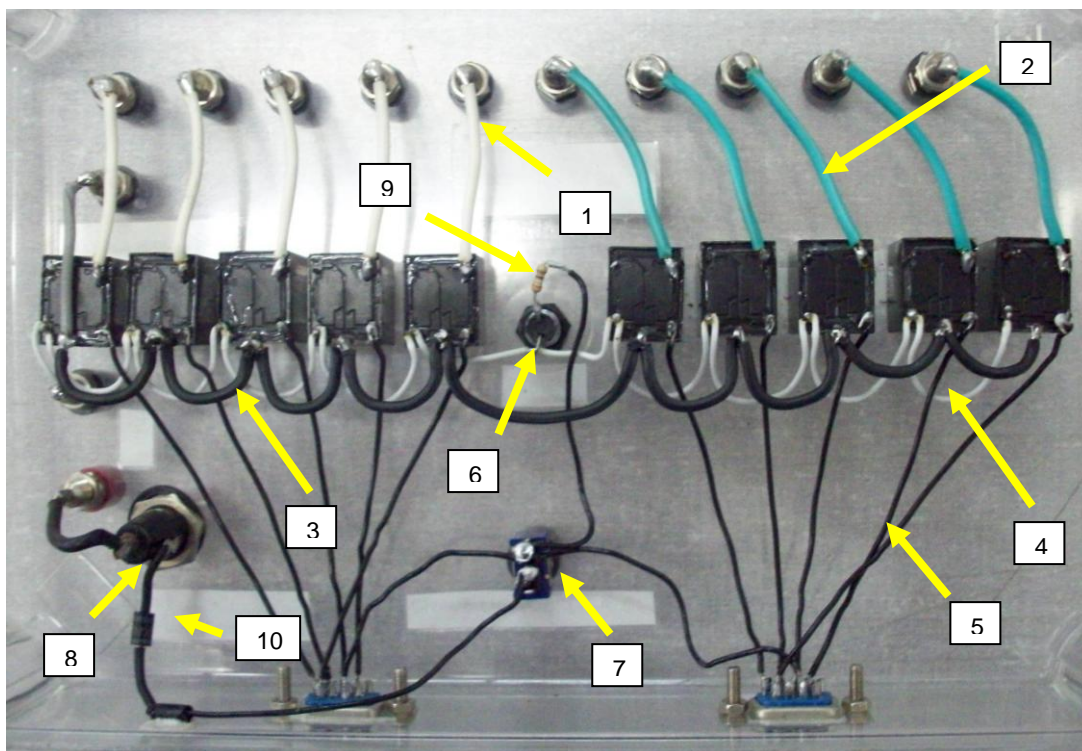




**Figura 38:** Esquema elétrico do mini painel



**Figura 39:** Vista superior do painel elétrico



**Figura 40:** Vista inferior do painel elétrico

| Nº | Denominação                    | Nº | Denominação |
|----|--------------------------------|----|-------------|
| 1  | Contato NA – <i>Joystick</i> 1 | 6  | LED         |
| 2  | Contato NA – <i>Joystick</i> 2 | 7  | Chave tecla |
| 3  | Comum 24 Vcc                   | 8  | Fusível 1 A |
| 4  | Bobina negativo 12 V           | 9  | Resistor    |
| 5  | Bobina positivo 12 V           | 10 | Diodo       |

**Quadro 12:** Identificação dos componentes do mini painel

O *Joystick* utilizado para esse trabalho é o do modelo Atari 125 (figura 41), protegido por um fusível de 1 A (item 8), para evitar a queima da placa quando houver oscilação na corrente elétrica. O mini painel é ligado por uma chave tecla, de liga e desliga (item 7) que é sinalizado por um LED (item 6) (o LED é acesso quando a chave é ligada). O resistor de 400 K $\Omega$  (item 9) é utilizado para limitar a corrente elétrica, evitando a queima do LED.

A fonte de 12 V que alimenta os *Joysticks* é protegida por um diodo<sup>1</sup> (item 10), pois ao ligar o mini painel, a bobina do relê irá gerar campo magnético de um sentido e ao desligar, o campo magnético tende voltar à fonte, podendo haver uma

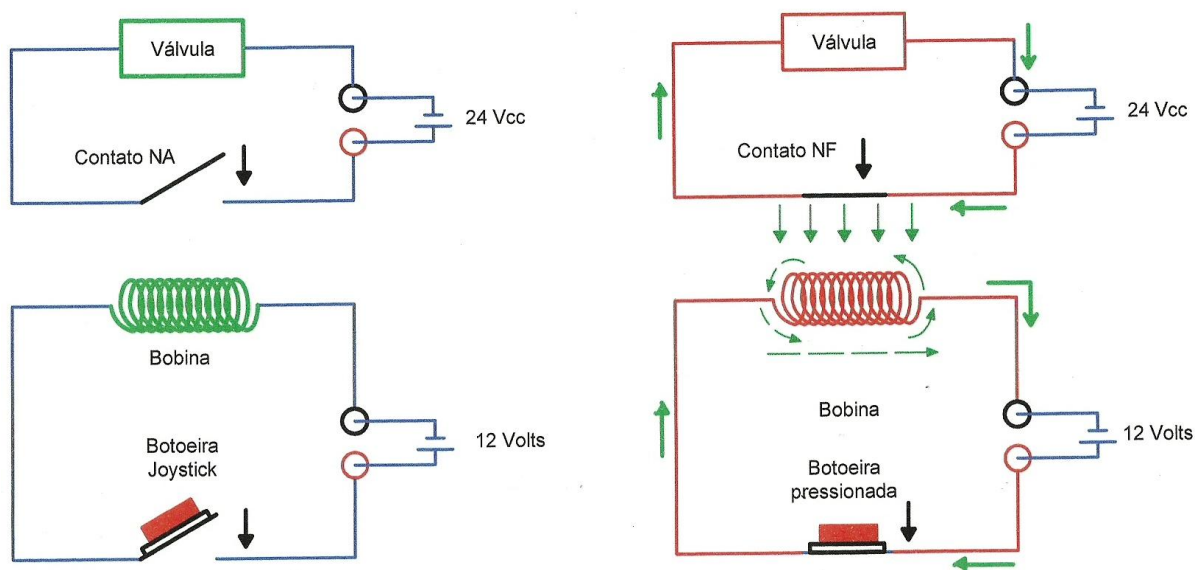
<sup>1</sup> MALVINO, pag 66 (1997)

polarização inversa na mesma, o que poderia causar um curto-circuito e a sua possível queima.



**Figura 41:** Joystick modelo Atari 125

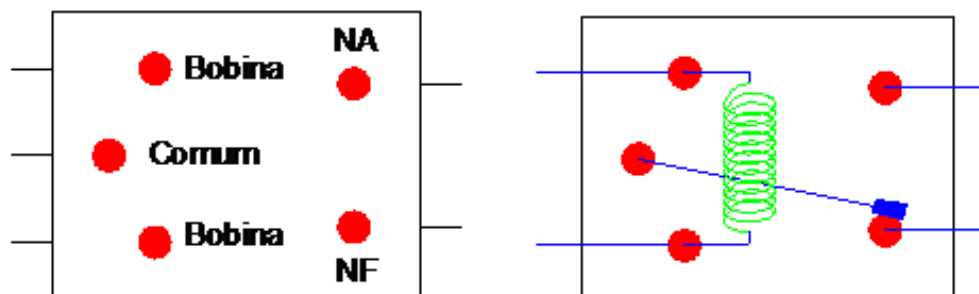
Quando o Joystick é acionado, uma das bobinas é energizada com tensão de 12 Vcc (tensão de corrente contínua) criando assim um campo magnético em volta da mesma, o que fecha o contato normalmente aberto. Com isso, libera-se a corrente no circuito de 24 Vcc, como mostra a figura 42.



**Figura 42:** Conceito de funcionamento de um relê

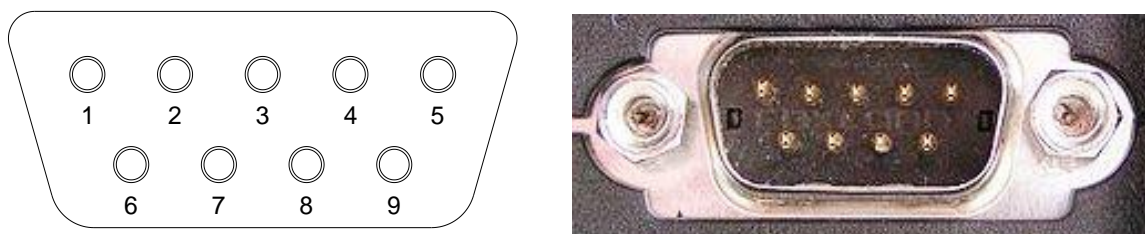


A estrutura interna de um relê comum, utilizado nesse trabalho, consiste de 5 pinos, nos quais dois deles energizam a bobina, e outros três referem-se ao comum, ao contato fechado e ao contato aberto, como mostra a figura 43.



**Figura 43:** Esquema elétrico interno do relê

O *Joystick* trabalha com um sistema de pinagem similar à do padrão RS-232. Desse modo, antes de fazer o esquema elétrico, foi necessário identificar cada pino relacionado com o movimento do *Joystick* e também o pino comum como mostra a figura 44.



**Figura 44:** Conector RS – 232

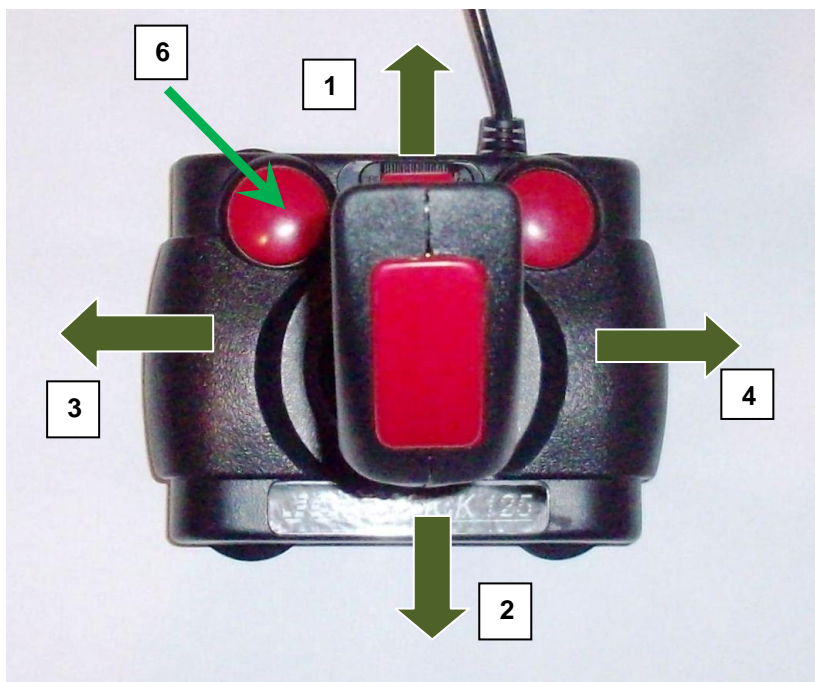
|   |               |   |               |
|---|---------------|---|---------------|
| 1 | Frente        | 6 | Botão         |
| 2 | Trás          | 7 | Não Aplicável |
| 3 | Esquerda      | 8 | Comum         |
| 4 | Direita       | 9 | Não Aplicável |
| 5 | Não Aplicável |   |               |

**Quadro 13:** Denominação da pinagem

Pode-se reparar na figura 45, que o *Joystick* tem dois botões na base e dois no manche, totalizando quatro botões. Esses botões estão conectados em uma só pinagem do RS – 232 (pino 5), o que representa um só botão, ou uma só função. Os

botões foram introduzidos nesse modelo apenas para a estética do controle ou funcionalidade quando utilizados para jogos.

De acordo com a pinagem citada anteriormente, os movimentos do *Joystick* estão indicados e enumerados conforme o quadro 13 na figura 45.



**Figura 45:** Indicação dos movimentos do Joystick

### 7.3 Circuito Pneumático

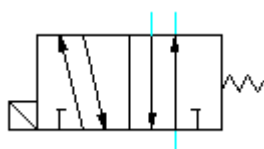
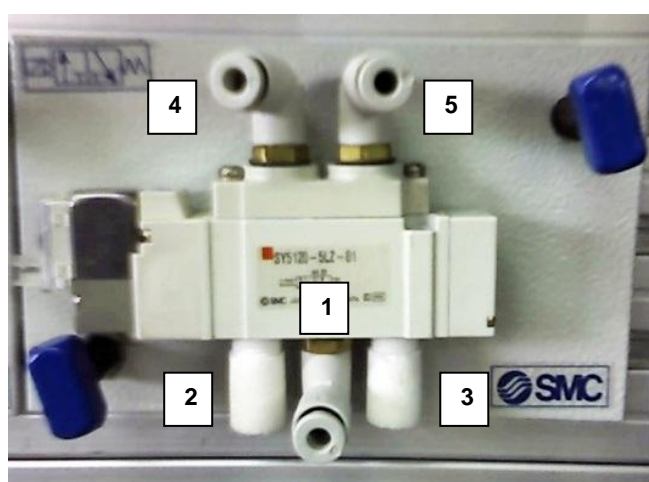
A movimentação dos cilindros foi simulada através de um circuito pneumático. Apesar de apresentar componentes diferentes do circuito hidráulico, procurou-se manter a mesma seqüência de movimentos apresentada na Retroescavadeira real.

O circuito pneumático foi escolhido devido à facilidade de manuseio, a simplicidade e a disponibilidade dos equipamentos no laboratório (válvulas, fonte 24 Volts, cilindros, mangueiras, cabos elétricos). O circuito pneumático foi montado na bancada de teste da fabricante SMC. No quadro 14 estão listados os materiais disponíveis nesse trabalho.

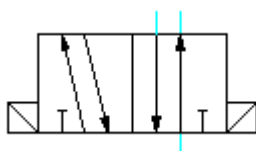
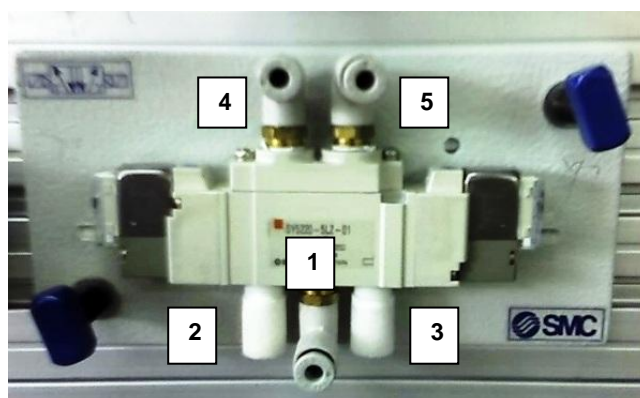
No laboratório da EEP, para a bancada SMC, só há disponibilidade das válvulas eletropneumáticas 5/2 vias com acionamento solenóide e retorno mola e acionamento solenóide em ambos os lados como mostra nas figuras 46 e 47.

| Quantidade | Elemento   |
|------------|--|
| 4          | Válvulas 5/2 vias, acionamento solenóide, retorno mola |
| 2          | Válvulas 5/2 vias acionamento e retorno por solenóide  |
| 32         | Mangueiras pneumáticas                                 |
| 4          | Cilindros de dupla ação                                |
| 1          | Alimentação de Ar comprimido – Max. 4 bar              |
| 1          | Bancada de teste – SMC                                 |

**Quadro 14:** Materiais e equipamentos utilizados para testes

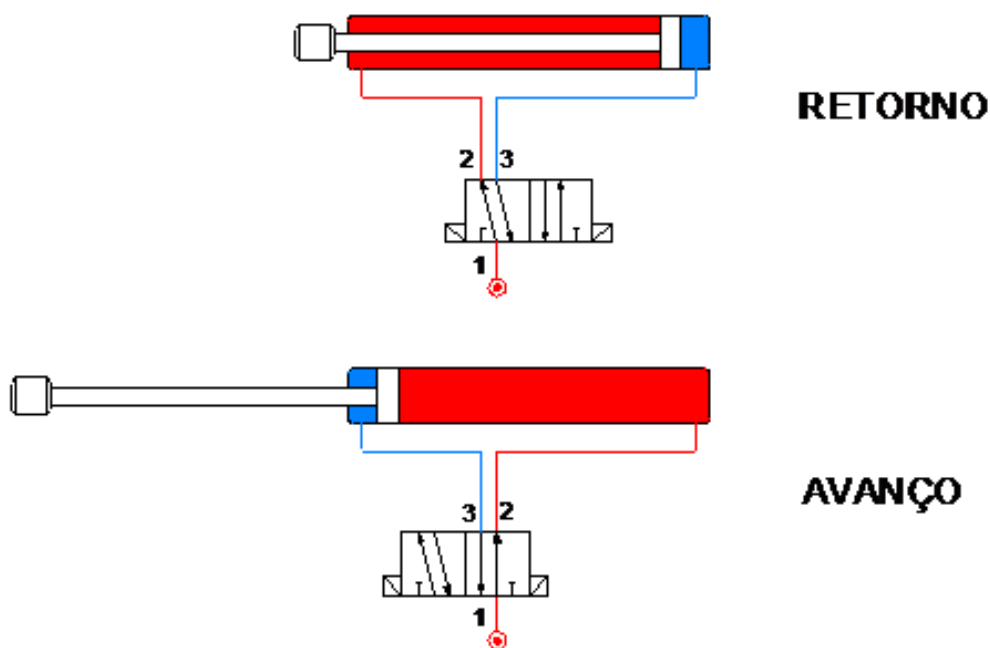


**Figura 46:** Válvula 5/2 vias, avanço solenóide e retorno por mola



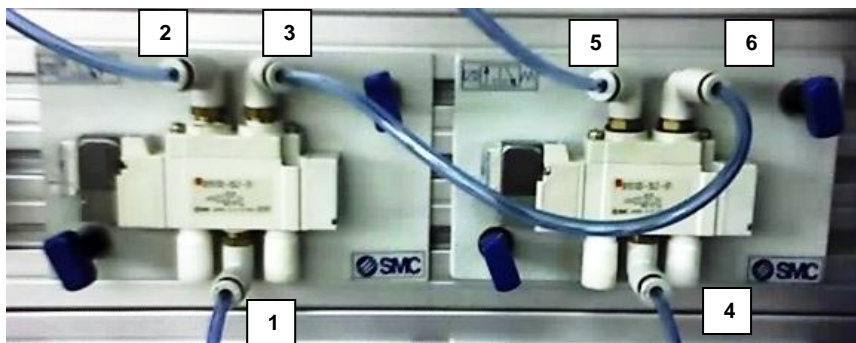
**Figura 47:** Válvula 5/2 vias, avanço e retorno solenóide

Como no ciclo de escavação da máquina real existem posições intermediárias dos cilindros, para simular a parada do cilindro em uma posição qualquer entre o início e o fim de curso, foi feita uma adaptação, explicada nos próximos parágrafos, para que as válvulas 5/2 vias passassem a exercer a função de 3/2 vias, como mostra a figura 48.



**Figura 48:** Válvulas 3/2 vias, avanço solenóide e retorno por mola

Como a válvula 3/2 vias não encaixa no perfil de paradas pré determinadas, então foi realizada a improvisação na ligação de mangueiras da mesma, como mostra na figura 49, utilizando válvulas 3/2 vias acionamento solenóide e retorno por mola. Para o conector 1, a mangueira introduz o ar comprimido. O ar passa pela mangueira 3 e encaminha para o conector 6. Há uma contrapressão nesse sentido, pois, o ar comprimido entra no conector 4, pressionando contra o ar que entra no conector 1. Quando o solenóide é acionado, a direção do ar muda para o conector 2 ou 5, realizando avanço ou retorno do cilindro.



**Figura 49:** Ligação das mangueiras nas válvulas 3/2 vias

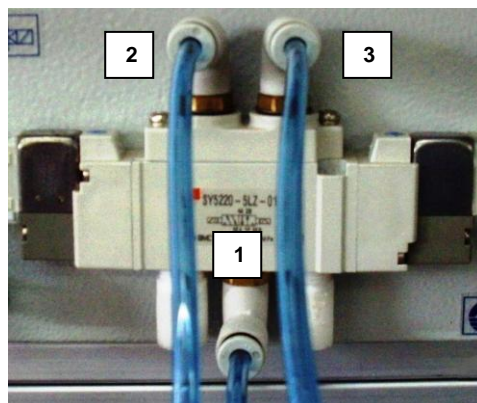
Para o trabalho das válvulas 3/2 vias citada anteriormente, o diferencial de pressão no avanço e retorno do cilindro deve ser nulo ou mínimo, para evitar a movimentação da haste mesmo que a válvula não esteja energizada. Entretanto as áreas de contato nas regiões de avanço e retorno do cilindro são diferentes. Desse modo, foi necessário utilizar os reguladores de vazão de ar nos conectores das mangueiras (figura 50), para ajustar a vazão com o ar comprimido e acertar o ponto da contrapressão.



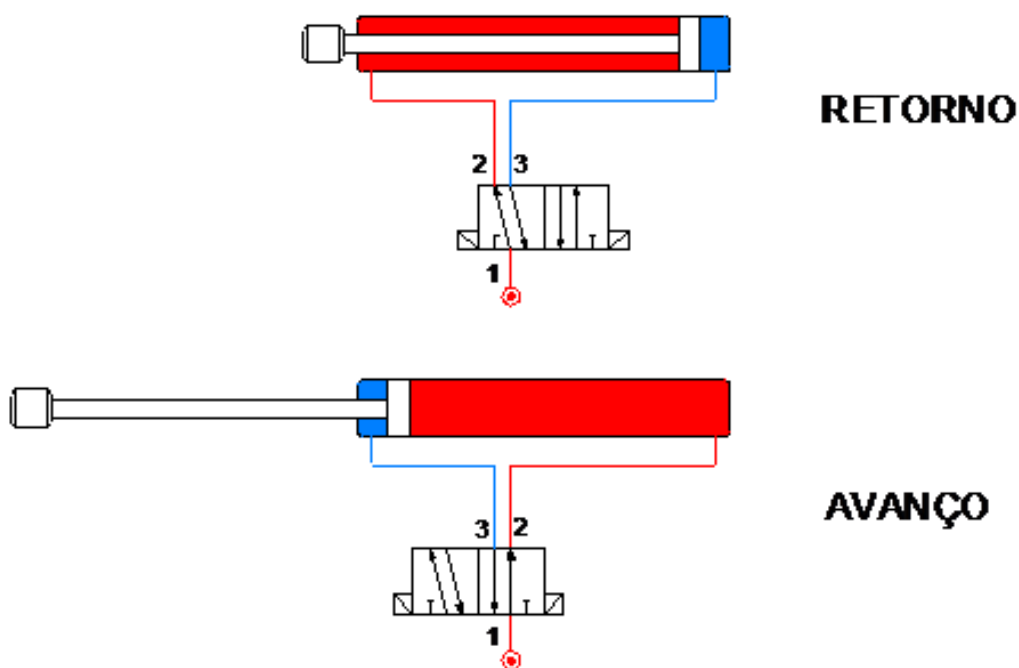
**Figura 50:** Cilindro com reguladores de vazão de ar

Para a válvula 3/2 vias avanço e retorno por solenóide, a conexão 1 introduz o ar comprimido para a conexão 2 (retorno) ou conexão 3 (avanço) e vice-versa, como mostra na figura 51. Nessa válvula, o cilindro avança ou retorna totalmente, não podendo obter paradas em posições intermediárias durante o curso.

Desse modo, para essa válvula, obtêm-se posições de avanço total e retorno total, como mostra a figura 52. Considera-se o repouso quando a haste está no fim de curso, ou seja, totalmente avançada ou recolhida.

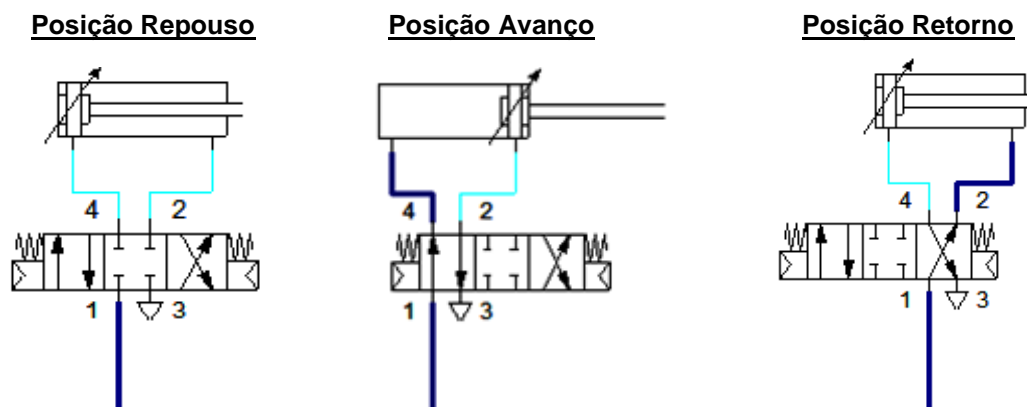


**Figura 51:** Ligação das mangueiras na válvula 3/2 vias, avanço e retorno solenóide



**Figura 52:** Válvulas 3/2 vias, avanço e retorno solenóide

Como descreve Piveta (2009), a válvula 4/3 vias para a pneumática, seria a ideal para trabalhar com o sistema onde o movimento do cilindro é interrompido em qualquer posição, o que se torna um requisito para realizar o trabalho de escavação. A figura 53 do circuito pneumático mostra esse tipo de funcionamento, tendo suas funções enumeradas no quadro 15.



**Figura 53:** Válvulas 4/3 vias

| Conexão | Função                                 |
|---------|--|
| 1       | Alimentação de Ar                      |
| 2       | Retorno cilindro e liberação no avanço |
| 3       | Escape de Ar                           |
| 4       | Avanço cilindro e liberação no retorno |

**Quadro 15:** Função dos conectores da válvula 4/3 vias

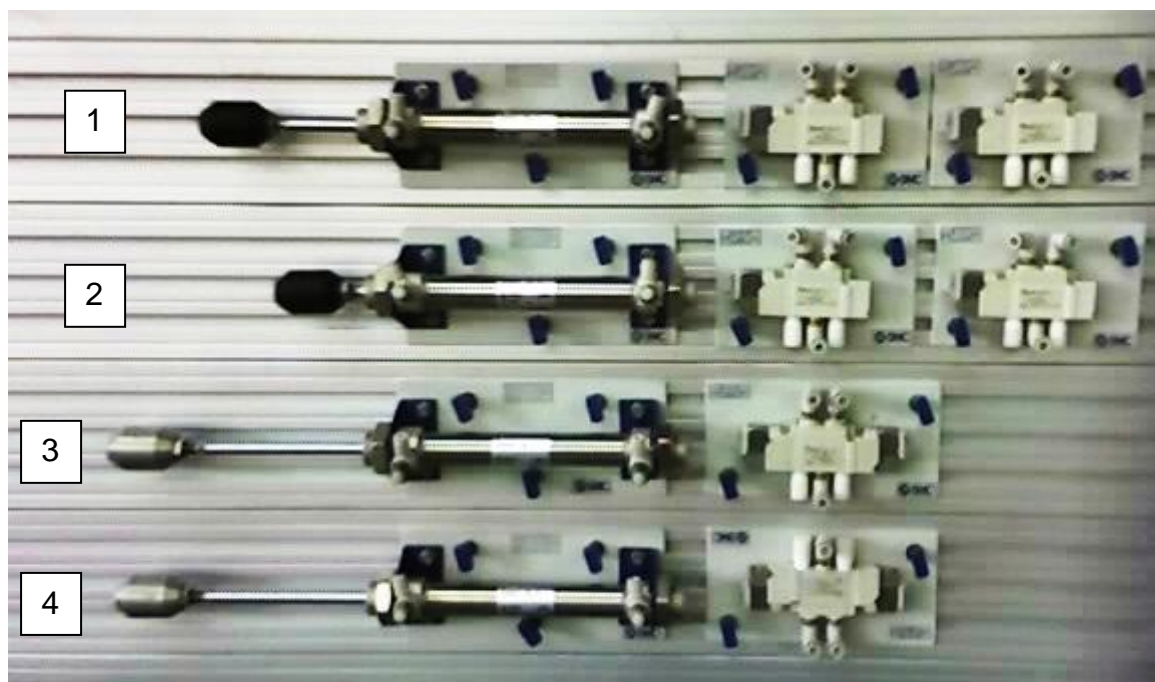
**Posição Repouso (neutro):** sem acionar a válvula, todas as conexões (1, 2, 3 e 4) estão bloqueadas.

**Posição Avanço:** A conexão 1 pressiona o ar para conexão 4, que avança a haste. Na saída de ar, o conector 2 encaminha para o 3, onde o ar pressurizado terá o escape à ar livre.

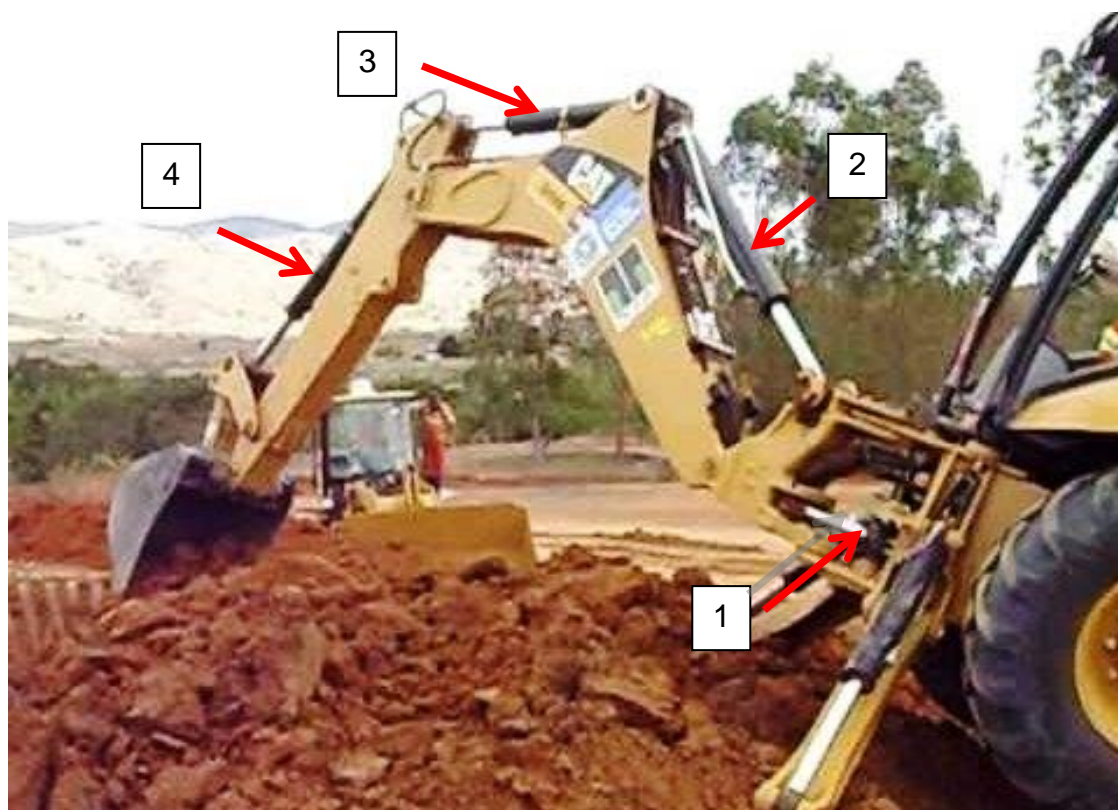
**Posição Retorno:** O conector 1 pressuriza o ar pra o 2, que empurra a haste para o interior do cilindro. Na liberação de ar, o conector 4 envia para o 3 (escape).

Para simular a escavação, dois cilindros foram guiados pelas válvulas 3/2 vias com solenóides em ambos dos lados e outros dois cilindros com as válvulas 3/2 vias avanço solenóide e retorno por mola como mostra na figura 54. O experimento tem como objetivo seguir a programação gravada na memória do CLP, sendo que dois dos cilindros serão solicitados com avanço e retorno completos (fim de curso) e outros dois cilindros com paradas determinadas. Para entender melhor o sistema, a figura 55 mostra a escavadeira traseira, com os cilindros enumerados, para que possa comparar com os cilindros do laboratório mostrados na figura 54.





**Figura 54:** Cilindros de dupla ação e válvulas 3/2 vias



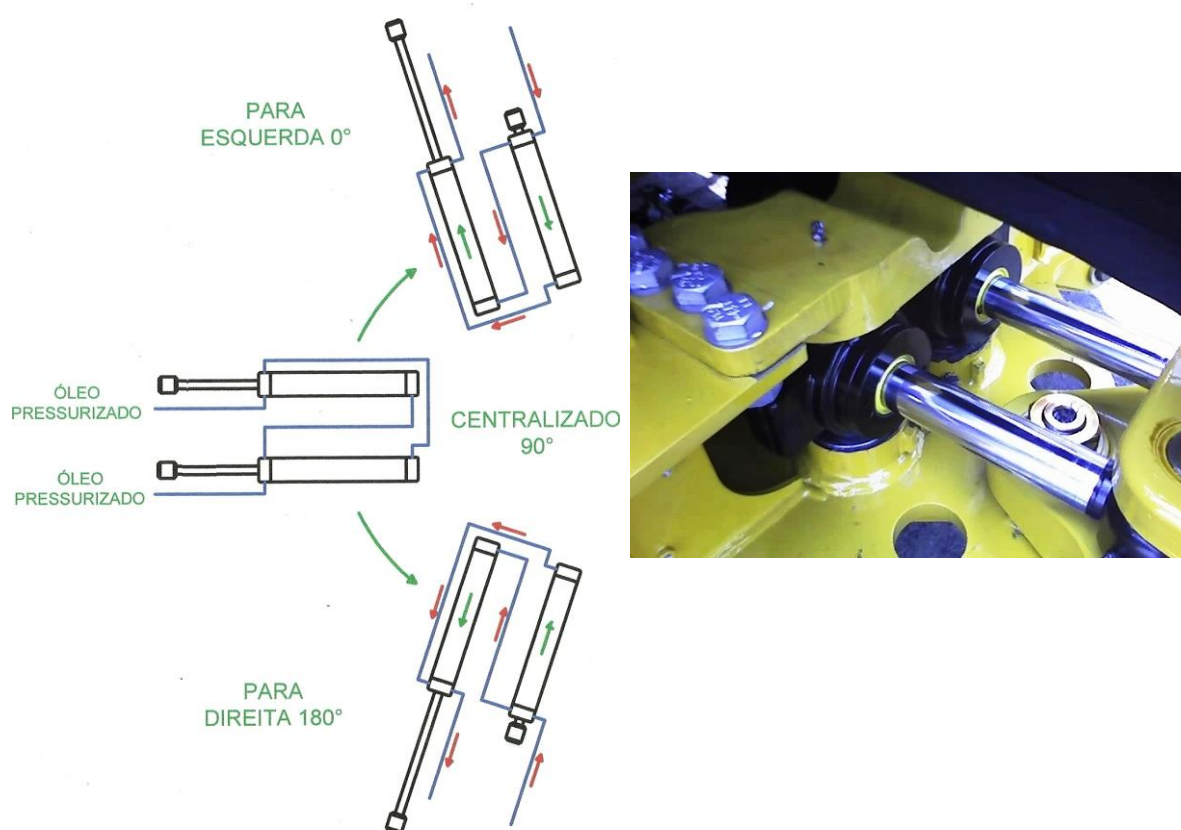
**Figura 55:** Escavadeira traseira 416E da Caterpillar  
Fonte: [www.vustv.com](http://www.vustv.com) (2011)



| Cilindro | Elemento     |
|----------|--------------|
| 1        | <i>Swing</i> |
| 2        | <i>Boom</i>  |
| 3        | <i>Stick</i> |
| 4        | Caçambinha   |

**Quadro 16:** Numeração dos cilindros

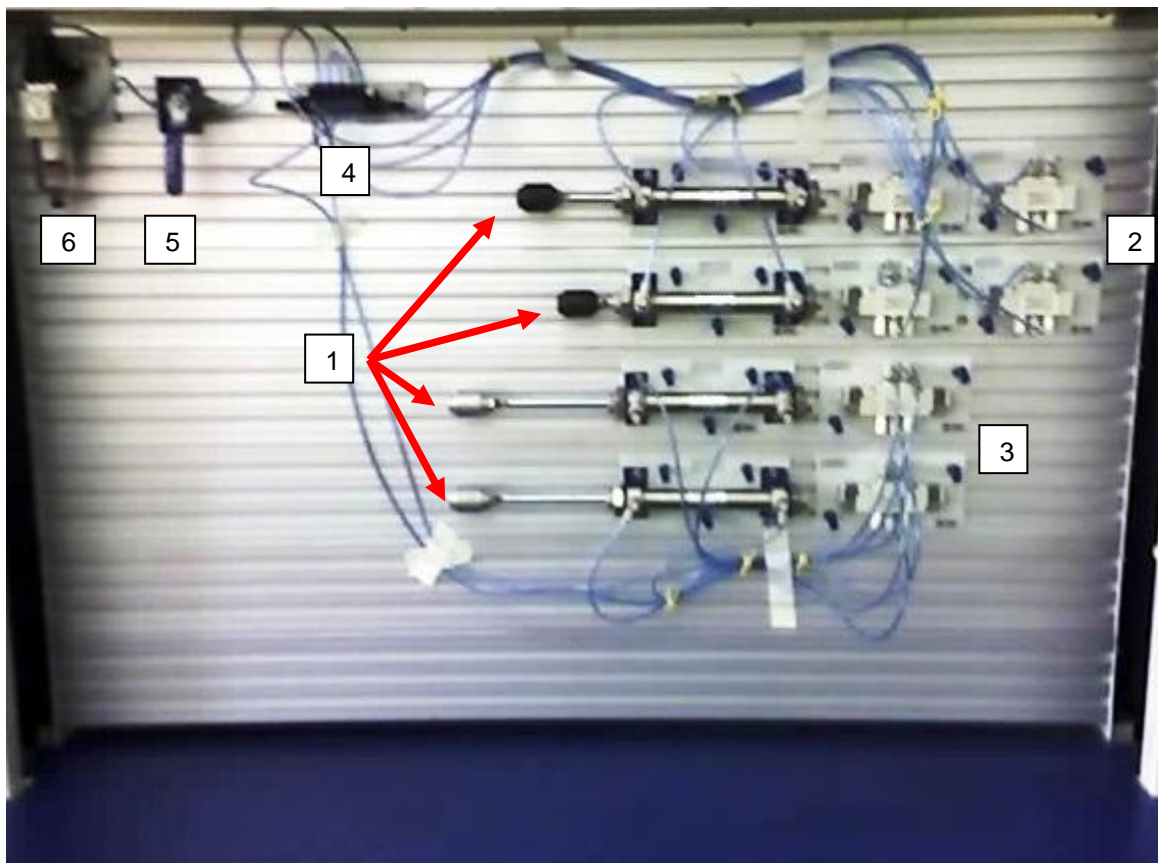
É importante ressaltar que o *swing* (cilindro 1) trabalha com 2 cilindros simultaneamente (figura 56) para realizar o giro de 180° de liberdade (90° para direita e 90° Para esquerda). Mas no laboratório da EEP, havia disponíveis somente 4 cilindros de dupla ação da bancada SMC, portanto, os cilindros do *swing* foram representados por apenas 1 cilindro.



**Figura 56:** Movimentação dos cilindros do *swing*

A figura 57 mostra o circuito completo na bancada, trabalhando com a máxima capacidade de pressão do compressor de ar, equivalente à 4 bar (400 Kpa). O ar passa pela unidade de conservação (6) para ser lubrificado e limpo, pois o fluido passará pelos contatos mecânicos (válvulas, cilindros). O ar, estando limpo,

diminui o atrito e evita o desgaste. A válvula de passagem plena (5) libera o ar para o bloco com 10 engates de mangueiras (4), para ligar nas válvulas (2 e 3), que promove movimentos nos cilindros (1).



**Figura 57:** Circuito pneumático na bancada de teste Festo

| Item | Elemento                                   |
|------|--|
| 1    | Cilindro                                   |
| 2    | Válvulas 3/2 vias ac. Solenóide, ret. mola |
| 3    | Válvulas 3/2 vias ac/ret Solenóide         |
| 4    | Bloco distribuidor de ar                   |
| 5    | Válvula de passagem plena                  |
| 6    | Unidade de conservação de ar               |

**Quadro 17:** Elementos do circuito pneumático

Para interpretá-los o circuito na figura 57, foi desenhado o diagrama pneumático para melhor compreensão da ligação dos componentes.

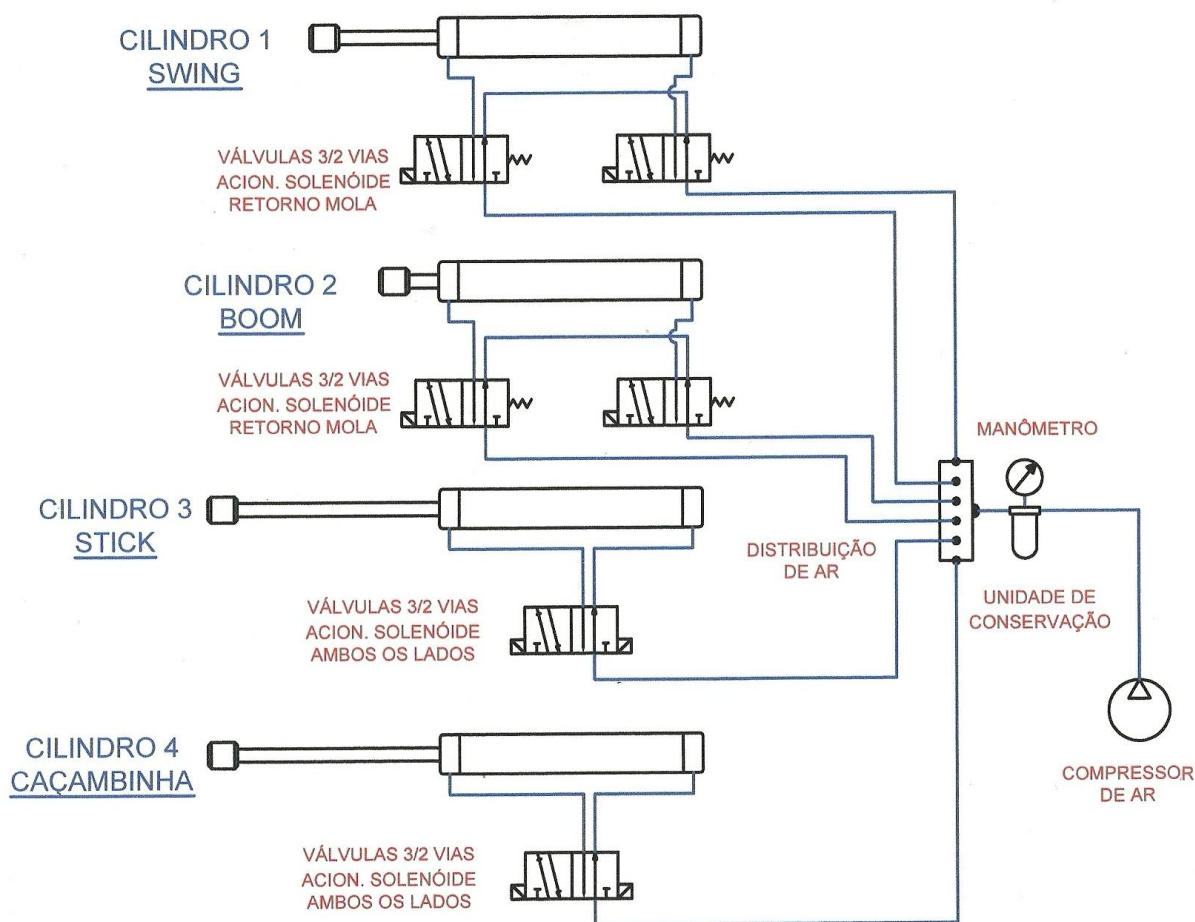


Figura 58: Layout do circuito pneumático

#### 7.4 Ciclo automático utilizando CLP

Para realizar o trabalho automático de escavação, o CLP assume o importante papel de todo o sistema da automação da retroescavadeira, pois, realizará o trabalho sem a intervenção do operador.

O CLP da EEP é da fabricante SIEMENS LOGO, construído em estrutura de um bloco de madeira, com bornes de entradas e saídas, leds indicativos, chaves, letreiro, para permitir o trabalho com maior facilidade e flexibilidade. A figura 59 mostra a estrutura do CLP.

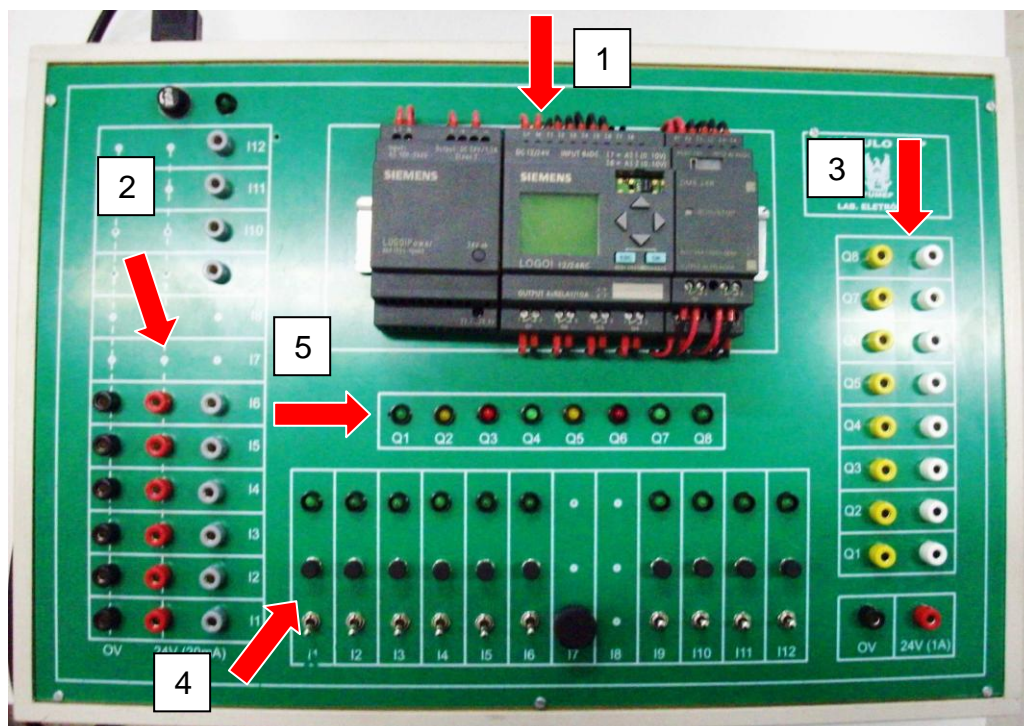


Figura 59: Estrutura acabada de um CLP SIEMENS

#### 7.4.1 CLP

Para programar o CLP (1), foi utilizado o software computacional LOGO *Soft Comfort*, que simula o trabalho do ciclo automático e manual através da montagem virtual de entradas, saídas, funções lógicas, relês, temporizadores. O CLP contém um conector para a porta do cabo que liga com o aparelho computacional para receber o programa criado no *software*, para que não haja necessidade de programá-lo no IHM, pois, o trabalho para construir é grande, a visão é muito limitada e só consegue visualizar um bloco na tela enquanto no *software*, o usuário visualiza o sistema todo. A tensão que o CLP alimenta é de 24 Volts.

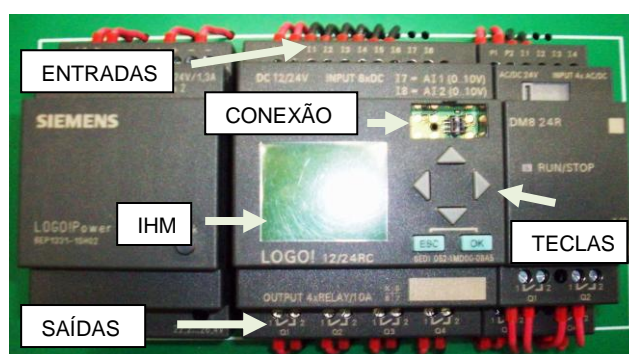


Figura 60: CLP SIEMENS LOGO

### 7.4.2 Entradas

Antes de realizar a programação, foi necessário construir duas tabelas, identificando as entradas (2) (quadro 18), que são os componentes acionados pelo operador e as saídas (3) (quadro 20), que são as respostas dos acionamentos realizados pelo operador. A seqüência dos movimentos do quadro 18 está relacionada com a numeração mostrada na figura 61. Essa construção do quadro tem como objetivo facilitar a construção da programação do CLP. Na entrada (denominada pela letra I), cada ação do cilindro é representada pelos movimentos do *Joystick*, como mostra na figura 61, tendo os trabalhos de avanço e retorno, automático e emergência, como descreve o quadro 18. No total, são 10 entradas disponíveis.

| DISPOSITIVO | JOYSTICK   | SEQUÊNCIA | AÇÃO       | ENTRADAS |
|-------------|------------|-----------|------------|----------|
| C1          | Frente 1   | 1         | Avanço     | I1       |
|             | Trás 1     | 2         | Retorno    | I2       |
| C2          | Direita 1  | 3         | Avanço     | I3       |
|             | Esquerda 1 | 4         | Retorno    | I4       |
| C3          | Trás 2     | 5         | Avanço     | I5       |
|             | Frente 2   | 6         | Retorno    | I6       |
| C4          | Direita 2  | 7         | Avanço     | I9       |
|             | Esquerda 2 | 8         | Retorno    | I10      |
| AT          | Botão 1    | 9         | Automático | I11      |
| BE          | Botão 2    | 10        | Emergência | I12      |

**Quadro 18:** Programação das entradas do CLP

| DISPOSITIVO | SIGNIFICADO      |
|-------------|------------------|
| C1          | Cilindro 1       |
| C2          | Cilindro 2       |
| C3          | Cilindro 3       |
| C4          | Cilindro 4       |
| AT          | Automático       |
| BE          | Botão Emergência |

**Quadro 19:** Significado dos dispositivos



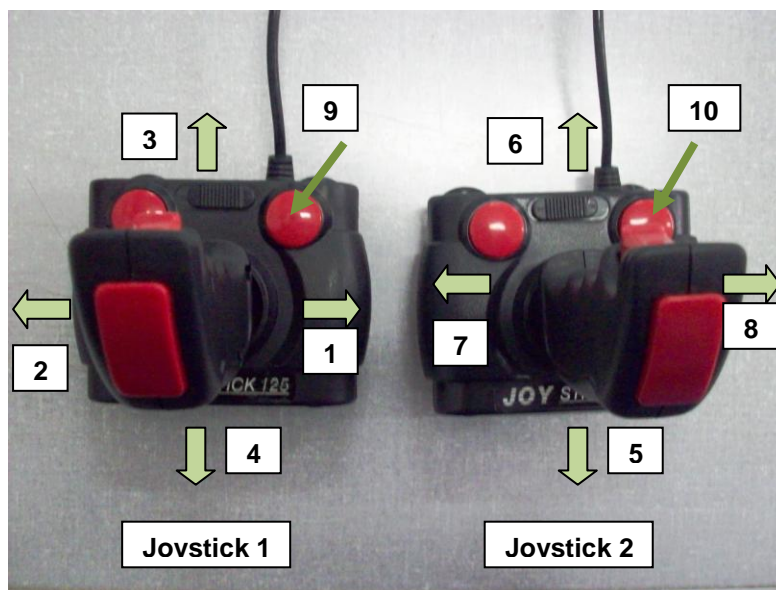


Figura 61: Movimentos dos Joysticks

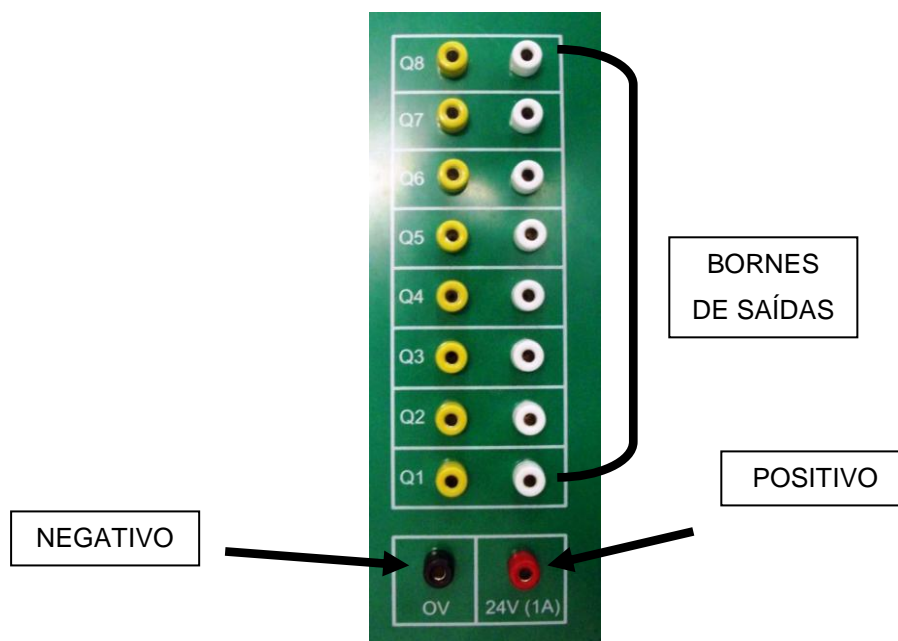
### 7.4.3 Saídas

Na saída do CLP, as respostas pelos acionamentos dos componentes estão nos solenóides das válvulas. Assim, os cilindros trabalham de acordo com a liberação do ar comprimido advinda de válvulas. As saídas (3) são denominadas pela letra Q.

A tensão que alimenta as válvulas é de 24 Volts. Para cada solenóide, temos o positivo e o negativo, portanto temos dois bornes para cada saída no módulo do CLP, identificado na figura 62.

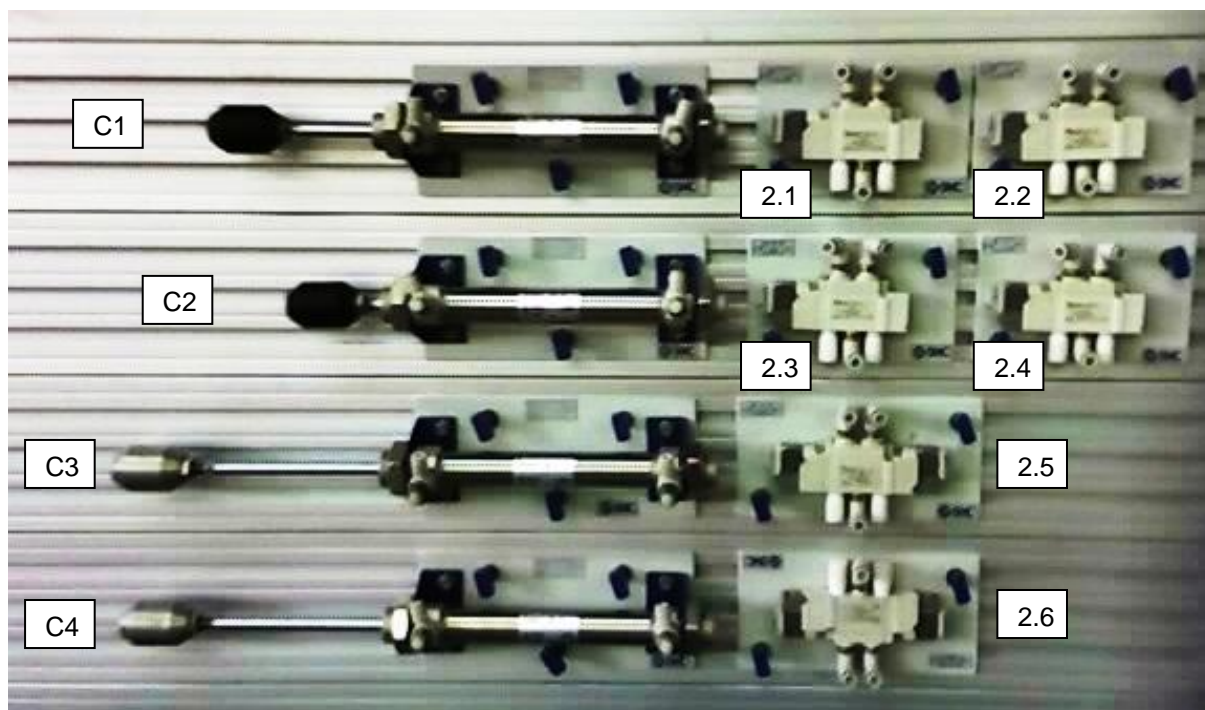
| DISPOSITIVO | AÇÃO    | SAÍDA | VÁLVULA DIRECIONAL |
|-------------|---------|-------|--------------------|
| C1          | Avanço  | Q1    | 2.1                |
|             | Retorno | Q2    | 2.2                |
| C2          | Avanço  | Q3    | 2.3                |
|             | Retorno | Q4    | 2.4                |
| C3          | Avanço  | Q5    | 2.5                |
|             | Retorno | Q6    |                    |
| C4          | Avanço  | Q7    | 2.6                |
|             | Retorno | Q8    |                    |

Quadro 20: Programação das saídas do CLP



**Figura 62:** Saídas do CLP

Podem-se representar as válvulas de acordo com a numeração do quadro 13, para representar na figura 63.



**Figura 63:** Numeração dos cilindros e válvulas para programação

#### 7.4.4 Chaves e botões

As chaves e botões (4) são representados pela entrada (I). Nesse caso, as chaves fariam a função de um *Joystick*, pois ao acionar, mandam sinal para a saída. Para esse trabalho, não há necessidade de utilizar, pois, o *Joystick* é que comanda a operação manual, o que é um dos objetivos desse trabalho.

#### 7.4.5 – LEDs

Quando a saída é acionada, a luz é sinalizada, para que o operador possa perceber que a resposta da saída que está sendo energizada no momento. Para cada LED (5), representa cada saída, como mostra na figura 64

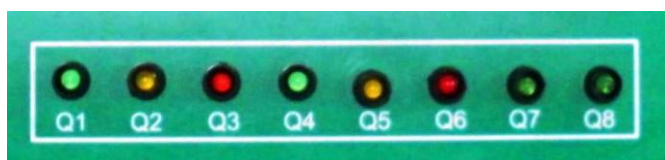


Figura 64: LEDs das saídas do CLP

#### 7.4.6 Programação da escavação

Para realizar a montagem do sistema, foi imaginado como a retroescavadeira trabalharia escavando uma vala para construção de bueiros. Para apenas demonstrar os movimentos dos cilindros, foi programado 3 escavações no mesmo lugar, mas a cada escavação, a profundidade de alcance do equipamento para o solo era maior, pois, conforme retira a terra, maior a necessidade de avançar o cilindro. Foi construída uma tabela para seqüenciar os acionamentos dos cilindros, com o auxílio visual da operação de uma Retroescavadeira real.

No estado inicial, o equipamento está recolhido da seguinte forma: o cilindro do *swing* está com a metade da haste exposta (1); o cilindro do *boom* com a haste totalmente recolhida (2); o cilindro do *stick* (3) e da caçambinha (4) com a haste totalmente avançada. A figura 65 mostra essa situação.



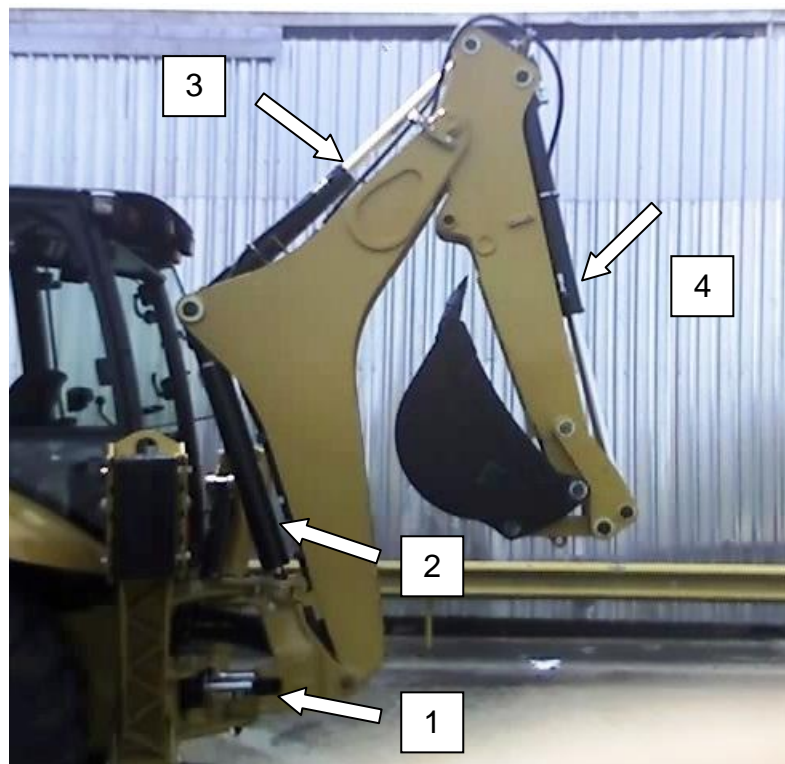


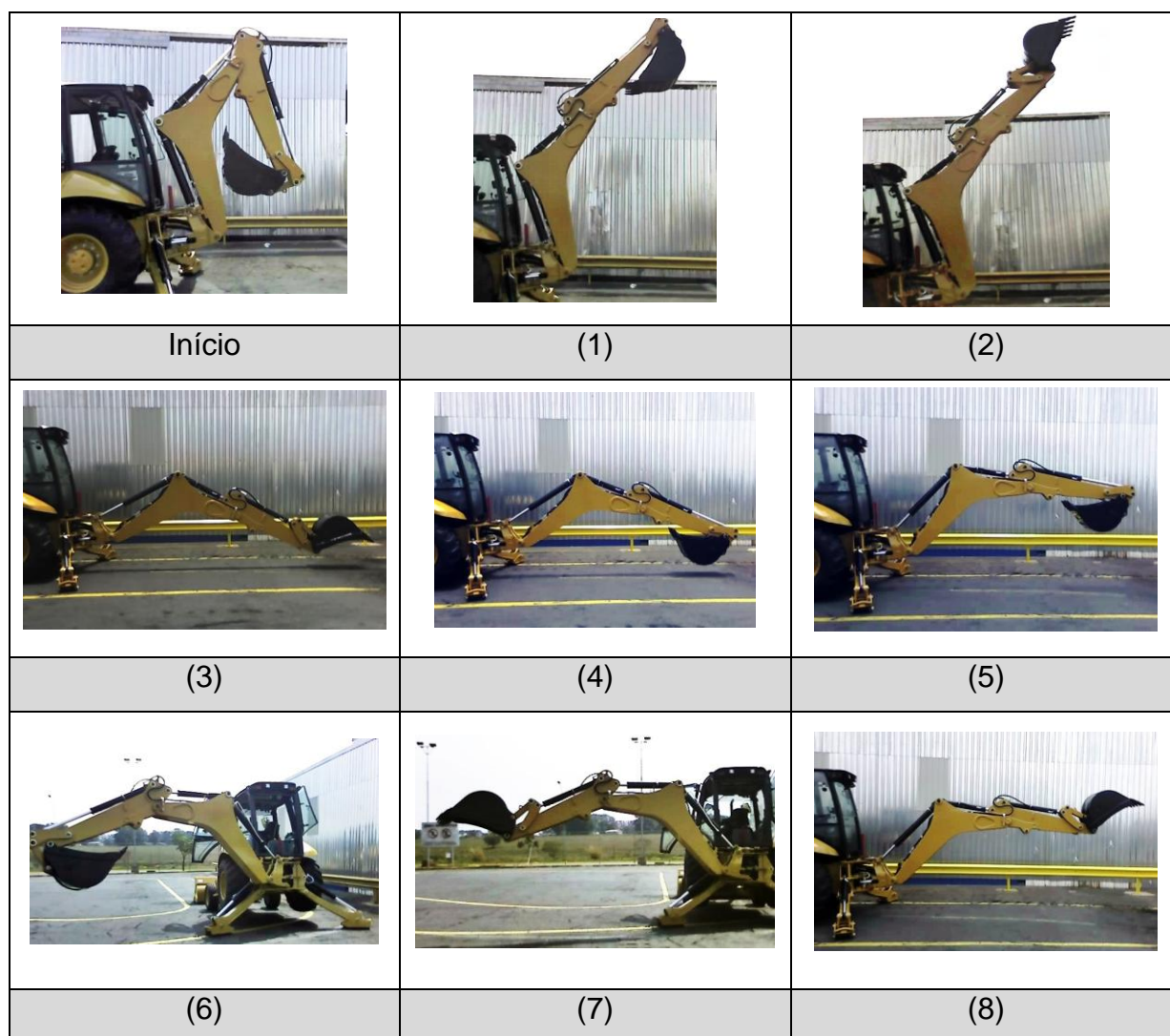
Figura 65: Estado inicial dos cilindros da escavadeira traseira

| CILINDROS     | INICIO     | 1       | 2       | 3          | 4          |
|---------------|------------|---------|---------|------------|------------|
| C1 SWING      | [-----]    | [-----] | [-----] | [-----]    | [-----]    |
| C2 BOOM       | [-]        | [-]     | [-]     | [----- C2] | [-----]    |
| C3 STICK      | [-----]    | [- C3]  | [-]     | [-]        | [-]        |
| C4 CAÇAMBINHA | [-----]    | [-----] | [- C4]  | [-]        | [----- C4] |
|               | 5          | 6       | 7       | 8          | 9          |
| C1 SWING      | [-----]    | [- C1]  | [-]     | [----- C1] | [-----]    |
| C2 BOOM       | [- C2]     | [-]     | [-]     | [-]        | [----- C2] |
| C3 STICK      | [-]        | [-]     | [-]     | [-]        | [-]        |
| C4 CAÇAMBINHA | [-----]    | [-----] | [- C4]  | [-]        | [-]        |
|               | 10         | 11      | 12      | 13         | 14         |
| C1 SWING      | [-----]    | [-----] | [- C1]  | [-]        | [----- C1] |
| C2 BOOM       | [-----]    | [- C2]  | [-]     | [-]        | [-]        |
| C3 STICK      | [-]        | [-]     | [-]     | [-]        | [-]        |
| C4 CAÇAMBINHA | [----- C4] | [-----] | [-----] | [- C4]     | [-]        |

Figura 66: Sequência de acionamentos dos cilindros

|               | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  |
|---------------|---|---|---|---|---|
| C1 SWING      | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C1 | [--- <input type="checkbox"/>               |
| C2 BOOM       | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C2 | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C2 | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               |
| C3 STICK      | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               |
| C4 CAÇAMBINHA | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C4 | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C4 |
|               | 20  | 21  | 22  | FIM   |   |
| C1 SWING      | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C1 | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               |   |
| C2 BOOM       | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C2 | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               |   |
| C3 STICK      | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C3 |   |
| C4 CAÇAMBINHA | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input type="checkbox"/>               | [--- <input checked="" type="checkbox"/> C4 | [--- <input type="checkbox"/>               |   |

**Figura 66:** Seqüência de acionamentos dos cilindros (Continuação)



**Figura 67:** Seqüência de escavação da Retroexcavadeira

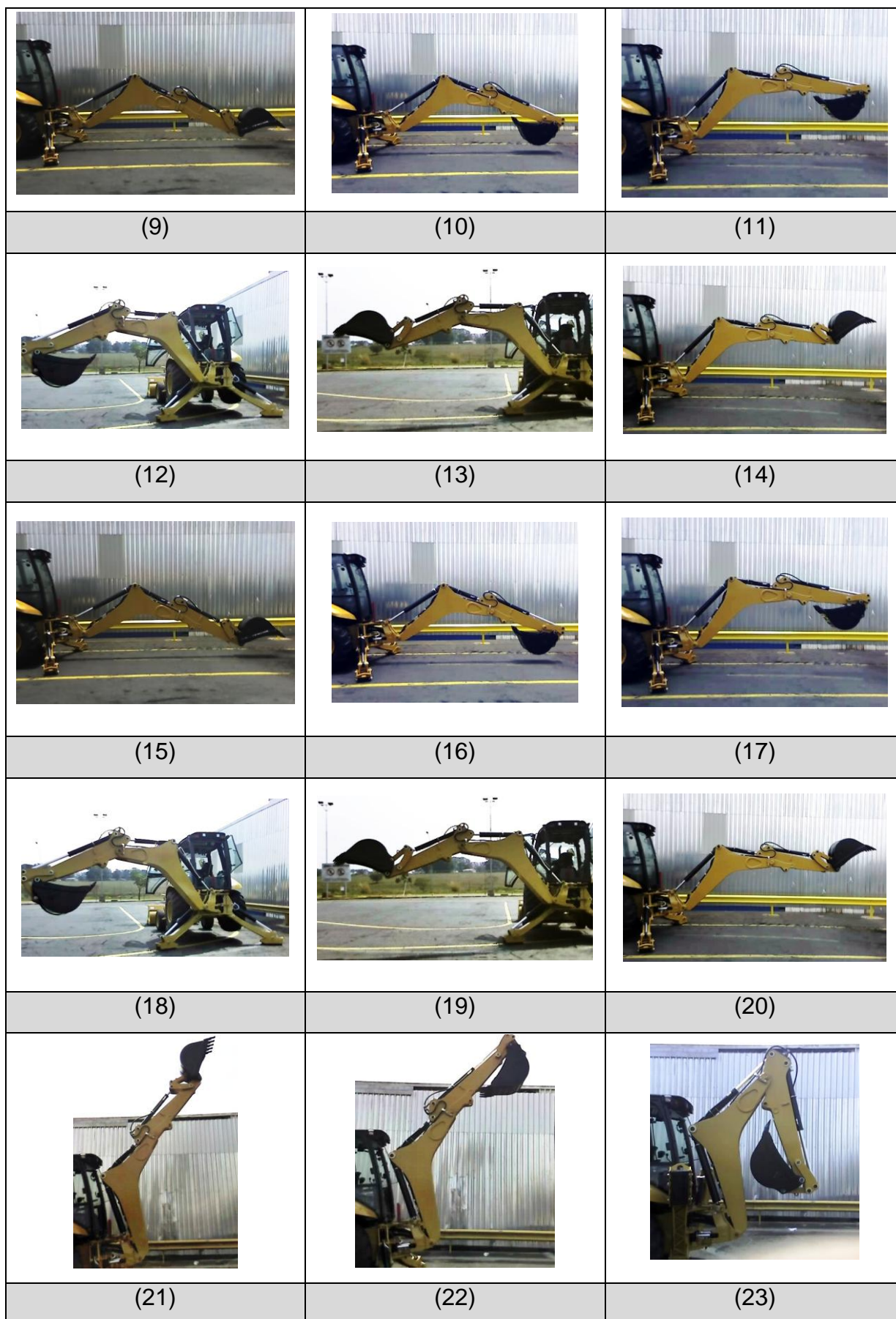


Figura 67: Sequência de escavação da Retroscavadeira (continuação)

De acordo com as figuras 66 e 67, o acionamento do cilindro inicia-se com a abertura da escavadeira traseira, retornando totalmente o cilindro do *stick* (1) e da caçambinha (2). O *boom* avança até o solo (3), onde a caçambinha inicia o carregamento dos sólidos (4). Para descarregar, o *boom* levanta parcialmente (5), vira o *swing* (6) e aciona o retorno total do cilindro da caçambinha (7). Após o descarregamento, o *swing* volta para a posição original (8) e inicia mais uma escavação. A diferença está no cilindro do *boom*, que vai cedendo aos poucos, pois, conforme vai retirando os sólidos, a profundidade aumenta e alcance da escavadeira vai tornando-se maior. As figuras 21, 22 e 23 são acionamentos para recolhimento da escavadeira traseira, ou seja, quando termina o ciclo.

Com base das informações elaboradas anteriormente, a montagem do sistema seqüencial de escavação foi realizada com as seguintes restrições:

1 – Os avanços e retornos dos cilindros foram controlados por temporizadores ao invés de sensores de fim de curso, o que seria mais correto. Isso foi feito devido ao número insuficiente de entradas, pois os sensores encaixariam com sinalizadores para respostas nas válvulas, portanto seria considerado como entrada;

2 – Os relês temporizadores foram utilizados apenas para simular os tempos de avanço e retorno dos cilindros, que na prática devem ser utilizados sensores fim de curso e de pressão, pois para a hidráulica, não há eficiência na utilização de contagem de tempo para avançar e retornar o cilindro em função do óleo hidráulico sofrer variações nas propriedades físicas e químicas, devido aos fatores como temperatura, desgaste e partículas contaminantes;

3 – Como a válvula utilizada é 3/2 vias, a eficiência e a precisão de paradas pré-determinadas é muito baixa (trabalhos dos cilindros 1 e 2), portanto o tempo regido no acionamento das válvulas está classificado em mini segundos;

4 – Foi acionado 1 cilindro por vez, para melhor acompanhamento dos movimentos, com o tempo de intervalo de 2 segundos cada acionamento.

Na programação pelo software, existem diversas opções de CLPs. O da EEP é o OBA5 Standard. Conforme as tabelas, seqüenciamento de escavação e restrições foi montada programação no LOGO *Soft Comfort* para posterior



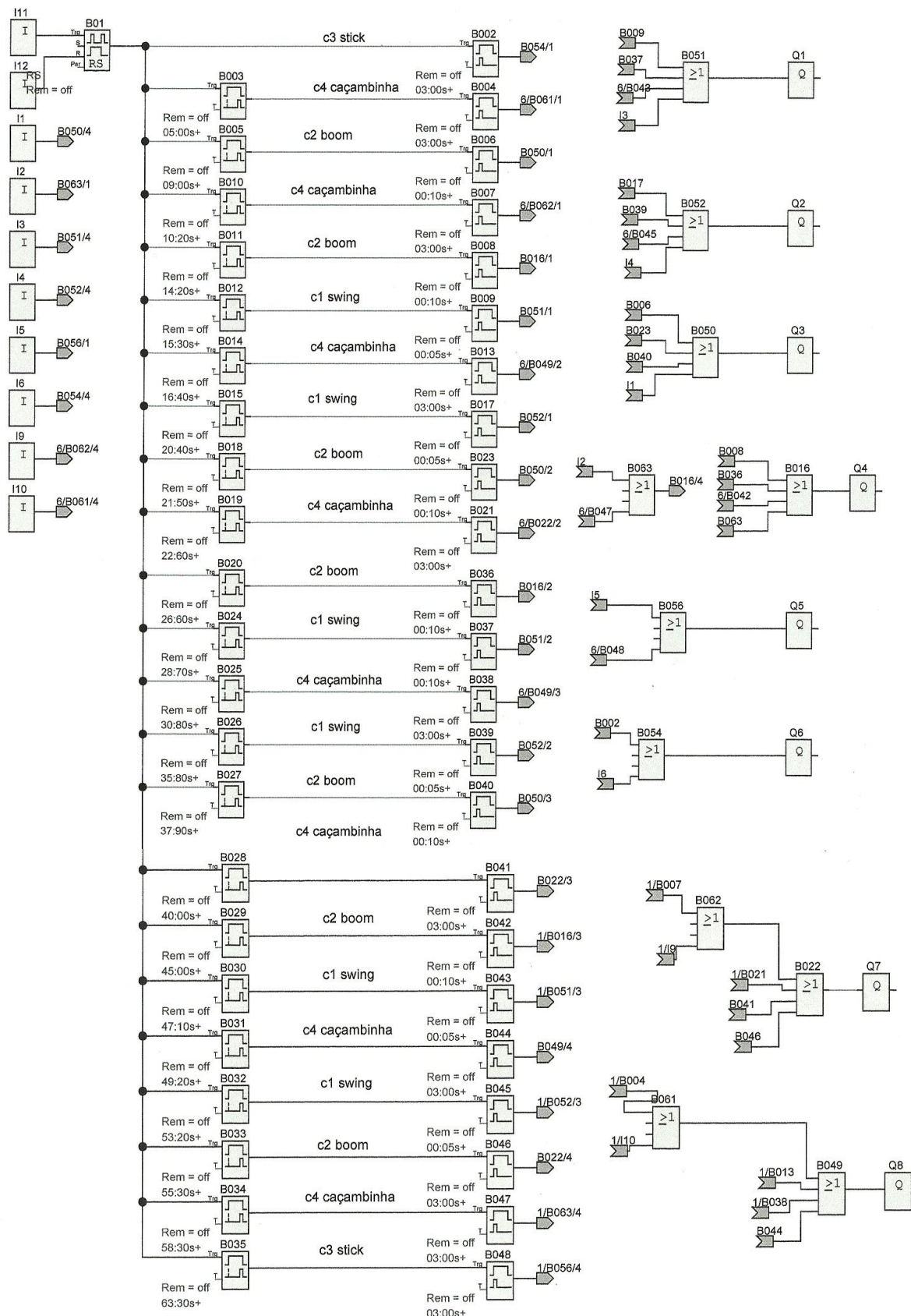


Figura 68: Programação do CLP realizada no LOGO Soft Comfort

## 7.5 Instalação do Circuito Eletropneumático

Com o mini painel construído e o circuito pneumático montado, o CLP entra com mediador da elétrica e da pneumática, transformando todo o sistema em eletropneumático. O módulo do CLP foi aderido no suporte da bancada Festo, onde o mesmo contém a fonte de 24 Vcc para alimentar a estrutura do CLP.

Para completar a montagem, foram utilizados os seguintes materiais:

| Quantidade | Elemento            | Quantidade | Elemento     |
|------------|---------------------|------------|--------------|
| 21         | Cabos banana        | 1          | Fonte 24 Vcc |
| 8          | Cabos para Válvulas | 1          | Fonte 12 V   |
| 1          | Estabilizador       | 1          | Modulo CLP   |

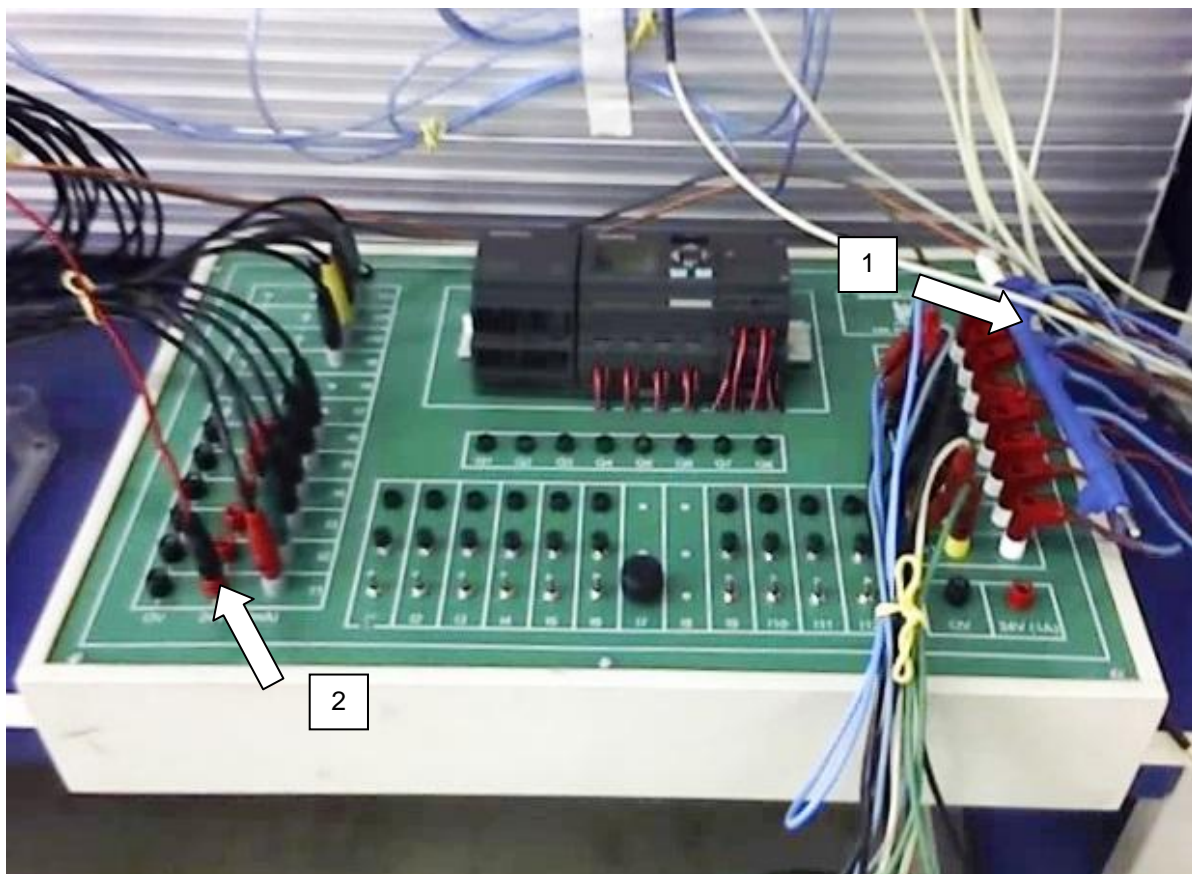
**Quadro 21:** Materiais para montagem do circuito de automação

Com são 3 fontes para consumo de energia (mini painel, bancada e CLP), então foi utilizado o estabilizador para conectar todas as fontes em um só lugar. A fonte que alimentava o estabilizador é de 127 V.

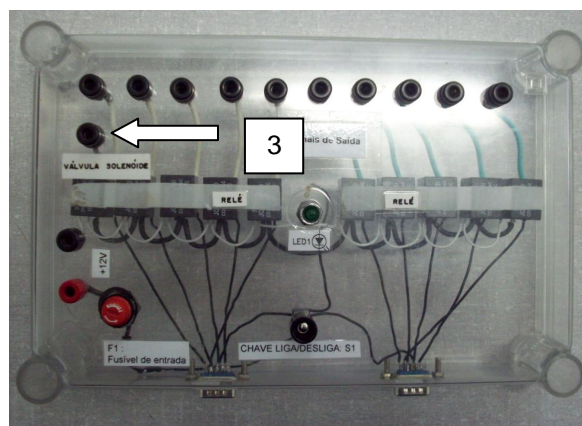
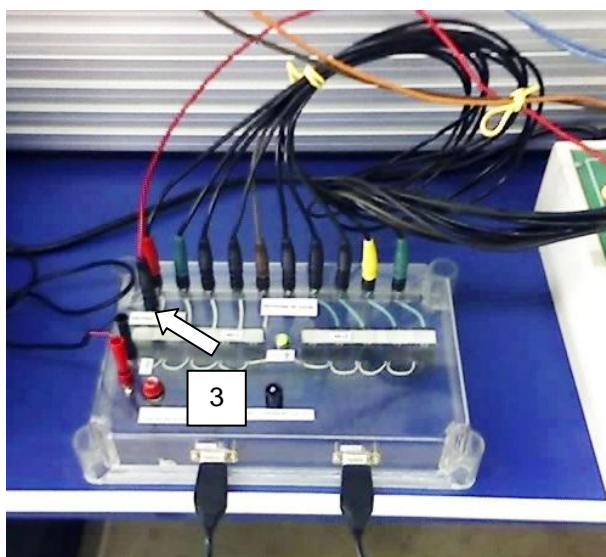
Os cabos bananas interligavam os bornes do mini painel com as entradas do CLP. Nas saídas do módulo CLP, os cabos ligavam com os solenóides das válvulas eletropneumáticas.

Na bancada SMC, contém um borne do positivo e outro do negativo de 24 Vcc. O positivo da bancada (24 Vcc) é ligado com o negativo da saída do CLP (0 Vcc); o negativo da bancada (0 Vcc) é conectado com os cabos negativo das válvulas (1); O positivo do módulo do CLP das entradas (2) é conectado ao mini painel, no borne da válvula solenóide (3), como mostra nas figuras 69 e 70.

Enfim, a figura 71 mostra o resultado de toda a instalação do circuito eletropneumático. Conforme a mesma figura, o apêndice A mostra o *layout* de todo o circuito eletropneumático.



**Figura 69:** Modulo do CLP com os cabos conectados



**Figura 70:** Indicação do cabo de energia 24 V no mini painel



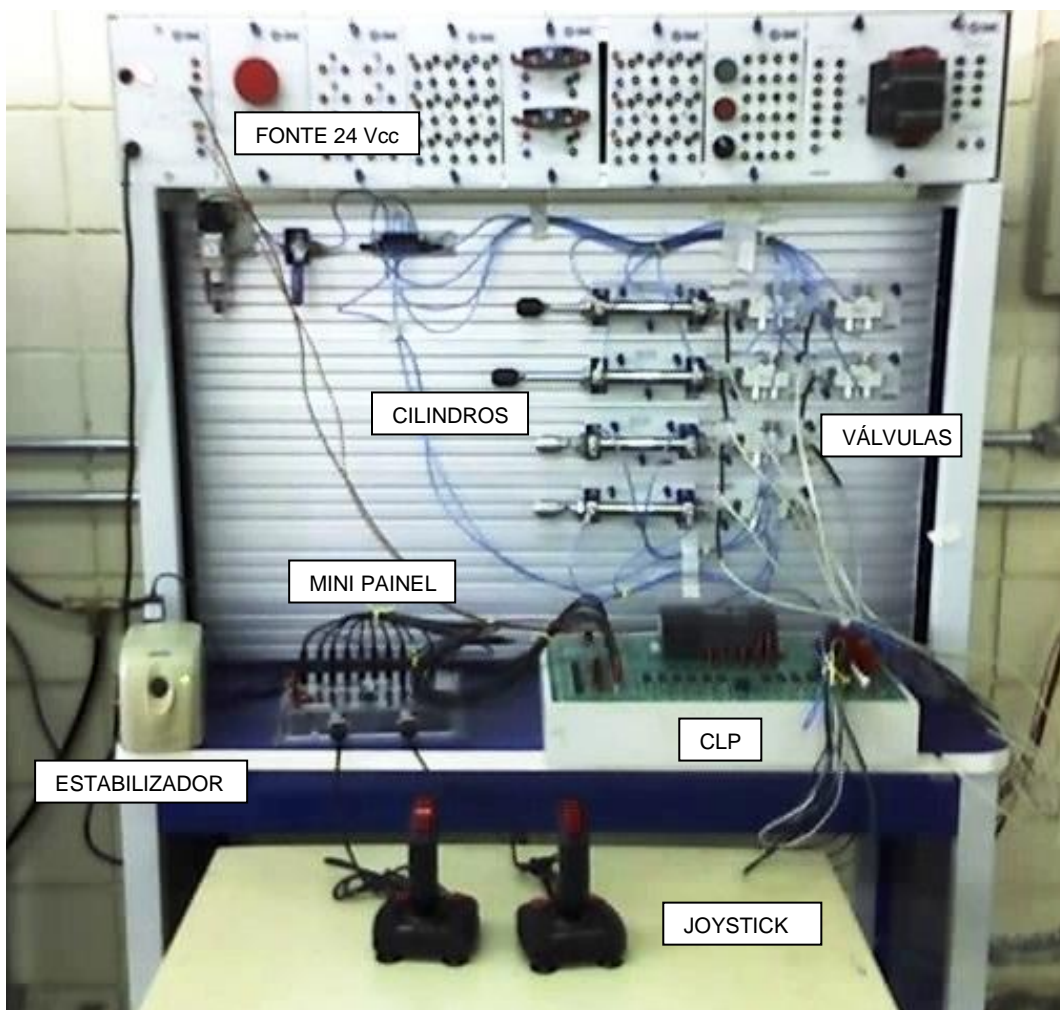


Figura 71: Bancada com o circuito completo

## 7.6 Resultados obtidos na simulação

Tanto os ciclos manuais e automáticos obtiveram resultados satisfatórios, ou seja, as simulações dos avanços e retornos dos cilindros, bem como as paradas dos mesmos em cursos intermediários, foram realizadas com sucesso na bancada.

Apesar de se utilizar as válvulas eletropneumáticas 5/2 vias, o que não é ideal para regime de paradas em qualquer posição do cilindro, conseguiu-se adaptar o serviço que seria feito por válvulas 4/3 vias através de ligações entre as saídas de duas válvulas distintas e a regulagem de vazão de ar no cilindro, obtendo-se assim o funcionamento esperado.

A programação também teve o seu desempenho funcional satisfatório, considerando-se que foram utilizados temporizadores para simular os tempos de avanço e retorno dos cilindros. Entretanto, devido à natureza de trabalho real da



Retroescavadeira, deveriam ser utilizados sensores de fim de curso para desempenhar esse papel de extrema importância no ciclo automático, pois, na prática podem haver variações de temperatura e pressão do óleo hidráulico, causando uma variação nesses tempos.

### 7.7 Trabalho dos implementos da máquina no ciclo automático

No trabalho em terrenos reais, existem diversos fatores imprevisíveis tais como nivelção, consistência da terra, rochas, espaço físico, obstáculos e outros. Conforme a situação real de trabalho, o ciclo automático pode não ser eficiente, o que tornaria o *Joystick* uma melhor opção para o operador. O trabalho repetitivo, como a escavação de valas para bueiro, pode-se adotar o ciclo automático, pois retira os sólidos diversas vezes no mesmo lugar, alterando apenas a profundidade, onde o cilindro avança ao poucos, nos implementos como o *boom* e o *stick*.

Para o trabalho do ciclo automático, a instalação do circuito eletro-hidráulico na retroescavadeira seria mais complexa, pois exigem válvulas mais robustas, diversos sensores, microcomputadores.

A implantação do CLP é algo inovador para a retroescavadeira e exige um grande esforço intelectual para projetar com o objetivo de realizar as manobras corretas de escavação fazendo com que a máquinas trabalhe com mais sensibilidade, pois ela não tem o senso crítico como no ser humano, que seria aplicado no controle manual através de *Joystick*.

Na lista abaixo, foi elaborado uma estimativa de estudo para funcionamento o ciclo automático.

1. **Estudo da geologia.** Na memória do CLP, seria detectada a dureza e resistência do solo para penetrar a caçambinha no terreno. O sensor de pressão pode detectar o solo, através da memória do CLP, os limites de pressão para cada solo. A caçambinha conforme vai penetrando o solo, a memória vai reconhecendo-o através da pressão exercida pelo óleo no cilindro. Pode-se citar como exemplo a areia e a terra. Imagina-se numericamente que a memória está configurada a pressão limite para areia com 5 MPa e para a terra com 15 MPa. Se o operador informar para a máquina que o solo é “areia”, então o sistema hidráulico vai trabalhar

com o valor limite de 5 MPa, e a máquina reconhecerá aquele solo como “macio”. Se ultrapassar o valor de 5 MPa, o ciclo automático irá desligar. Se escolher o solo “terra”, a sensor irá ativar o trabalho maior da bomba hidráulica para gerar maior força de penetração, pois, a máquina reconheceria o solo mais difícil de trabalhar e assim sucessivamente.

2. **Estudo da segurança do espaço físico.** Para a segurança do operador, sensores detectariam o tamanho do espaço físico do trabalho. Imagina-se que a retroescavadeira esteja entre paredes e memória permite o trabalho com 5 metros de distância. Se entre as paredes o sensor detectar 4 metros, então o ciclo automático não poderá ser ligado. Também como exemplo, o trabalho ao lado do abismo, onde o sensor não detectaria o fim do laser, também seria impossível o trabalho automático. Para casos como esses, o *joystick* seria a opção.
3. **Manobras de carregamento e descarregamento.** Para escavar o solo, o operador informa para a máquina a profundidade, distância, ângulo desejado. A cada escavação, o cilindro vai cedendo conforme a pressão que o solo exerce. Para descarregamento, o sensor detecta os obstáculos que a caçambinha irá enfrentar, levantando-o para descarregar, pois, conforme retira os sólidos, o montante vai aumentando, e conseqüentemente, a escavadeira vai levantando para descarregar.
4. **IHM (Interface Homem - Máquina).** A empresa que contratar o operador de retroescavadeiras teria que exigir conhecimentos em CLP. Seria inviável. Uma tela com informações claras e objetivas pode resolver esse problema. Informações como altura de escavação, local para descarregar sólidos, tipo de solo, seriam digitados pelo operador. As informações do microcomputador seriam enviadas pelo CLP.

## 8 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi realizado para comprovar o funcionamento do *Joystick* no circuito eletropneumático para simular o funcionamento de uma Retroescavadeira real, das séries 420E, 430E e 450E, recentemente lançada pela Caterpillar, para obter-se maior espaço físico, melhor ergonomia e melhor estética em comparação com a Retroescavadeira com alavancas mecânicas. Acrescentou-se neste trabalho, a operação de escavação automática, com o uso do Controlador Lógico Programável, onde o operador tem a opção de escavar o solo sem o manuseio manual, ou seja, a escavação assistida.

Foi construído um mini painel elétrico para trabalhar com os comandos dos *Joysticks*, para que o mesmo enviasse um sinal através do circuito de comando e potência (relê). O mini painel teve seu cabos ligados com as entradas do CLP e o envio de corrente elétrica nas válvulas através das saídas do próprio CLP.

Na bancada de teste da fabricante SMC, o circuito pneumático foram representados pelos cilindros de dupla ação e válvulas 5/2 vias com acionamento solenóide e retorno mola, que pela necessidade de realizar paradas em qualquer posição do cilindro, foi adaptada em 3/2 vias.

A programação do CLP foi realizada através do software LOGO *Soft Comfort* e posteriormente transferida para o IHM do CLP SIEMENS. A programação continha elementos com entradas, saídas, funções lógicas, relês temporizadores e memória.

Todo o sistema eletropneumático teve seu funcionamento esperado. Apesar de diferenciar os componentes hidráulicos (Retroescavadeira) com os pneumáticos (laboratório), o princípio de funcionamento é similar. Assim também para o CLP, o funcionamento é o mesmo. Entretanto a diferença está na programação, onde os temporizadores apenas foram utilizados devido à ausência e quantidade insuficiente de sensores de distância, de pressão, de contato. Para a Retroescavadeira, o temporizador não proporciona precisão e exatidão, pois os tempos de avanço e retorno podem variar, devido aos fatores que influenciam o óleo hidráulico tais como temperatura, vida útil, partículas contaminantes, entre outros.

Para trabalhos futuros, pode-se adotar o teclado de um computador e transmitir via rádio os comandos para acionamentos dos cilindros, para que o usuário tenha acesso ao trabalho da Retroescavadeira, em tempo real, sem a necessidade de ter operador na cabine de operações.

## REFERÊNCIAS

BRIAN, Marshall; HARRIS, Tom. **Como funcionam as escavadeiras Caterpillar**. HowStuffWorks. 5 de março de 2001 (atualizado em 3 de novembro de 2009). Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/escavadeiras-caterpillar.htm>>. Acesso em 25 de abril de 2011.

CATERPILLAR. **Retroescavadeira 416E**. Disponível em: <<http://brasil.cat.com/cda/layout?m=423056&x=12>>. Acesso em 18 de junho de 2011.

COSTA, César da. **Projetando Controladores Digitais com FPGA**. Ed. Novatec. Disponível em <<http://novatec.com.br/livros/controladoresdigitais/capitulo8575220888.pdf>>. Acesso em 04 de Julho de 2011

COSTA, Luiz Augusto A. **CLPs**. Maxicon Automação. Abril de 2010. Disponível em: <<http://www.sorocaba.unesp.br/professor/luizaugusto/CLPs.pdf>>. Acesso em 20 de julho de 2011

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sist. Seqüenciais com PLCs**. São Paulo. Ed. Érica, 9ª edição. 2008

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter Luis A. **Controladores Lógicos Programáveis**. São Paulo. Ed. Érica, 2008.

HARRIS, Tom. **Como funcionam os joysticks**. HowStuffWorks. 25 de junho de 2002 (atualizado em 23 de maio de 2007). Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/joystick2.htm>>. Acesso em 2 de junho de 2011

HOLMES, S. Gillian. **Backhoe**. Volume 6. Disponível em <<http://www.madehow.com/Volume-6/Backhoe.html>>. Acesso em 14 de Abril de 2011.

LISINGEN, Iran von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. Florianópolis. Ed. da UFSC, 2001.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4ª Ed. São Paulo. Ed. Pearson Education do Brasil. 1997.

MORAES, Cícero Couto. CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2001

NARDINI, Jurandir Jones. **Tecnologia e Sistemas de Gestão da Produção e da Qualidade**. UNICAMP – FEM/DEF. Campinas. Fevereiro de 1999

QUADROS, Dagoberto Stein de. **Apostila de rede viária florestal**. Universidade Regional de Blumenau, 2004. Disponível em: <[http://home.furb.br/erwin/estradas/apostila\\_rede\\_viaria.pdf](http://home.furb.br/erwin/estradas/apostila_rede_viaria.pdf)>. Acesso em: 15 de maio de 2011.

PARKER Training. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Apostila M2001-1 BR. Junho de 1999.

PEDRON, Giovanni. **Análise e proj. de sist. de controle para atuadores hidráulicos servo acionados**. PUC-PR. Curitiba. Outubro de 2006

PIVETA, Alessandro. **Benefícios dos Comandos Eletro-Hidráulico Instalado em uma Motoniveladora**. Piracicaba, EEP, 2009

PRUDENTE, Francesco. **PLC: Teoria e Aplicações**. Ed. LTC. 2007

RUANO, Rafael Sterzo. **Desenvolvimento de um controle remoto via Rádio, com uso de joystick, aplicável em elevadores de carga tipo Munck**. Piracicaba, EEP, 2009.

SCHIMITT, Arno. **Treinamento Hidráulico**. Rexroth. Ed nº 00301/2.81, Start Criação e Planejamento Ltda. [198\_].

SILVA, Marcelo Eurípedes. **Controladores Lógico Programáveis – Blocos Lógicos**. Piracicaba. EEP. Fevereiro de 2006.

SILVA, Marcelo Eurípedes. **Controladores Lógico Programáveis – Ladder**. Piracicaba. EEP. Fevereiro de 2007.

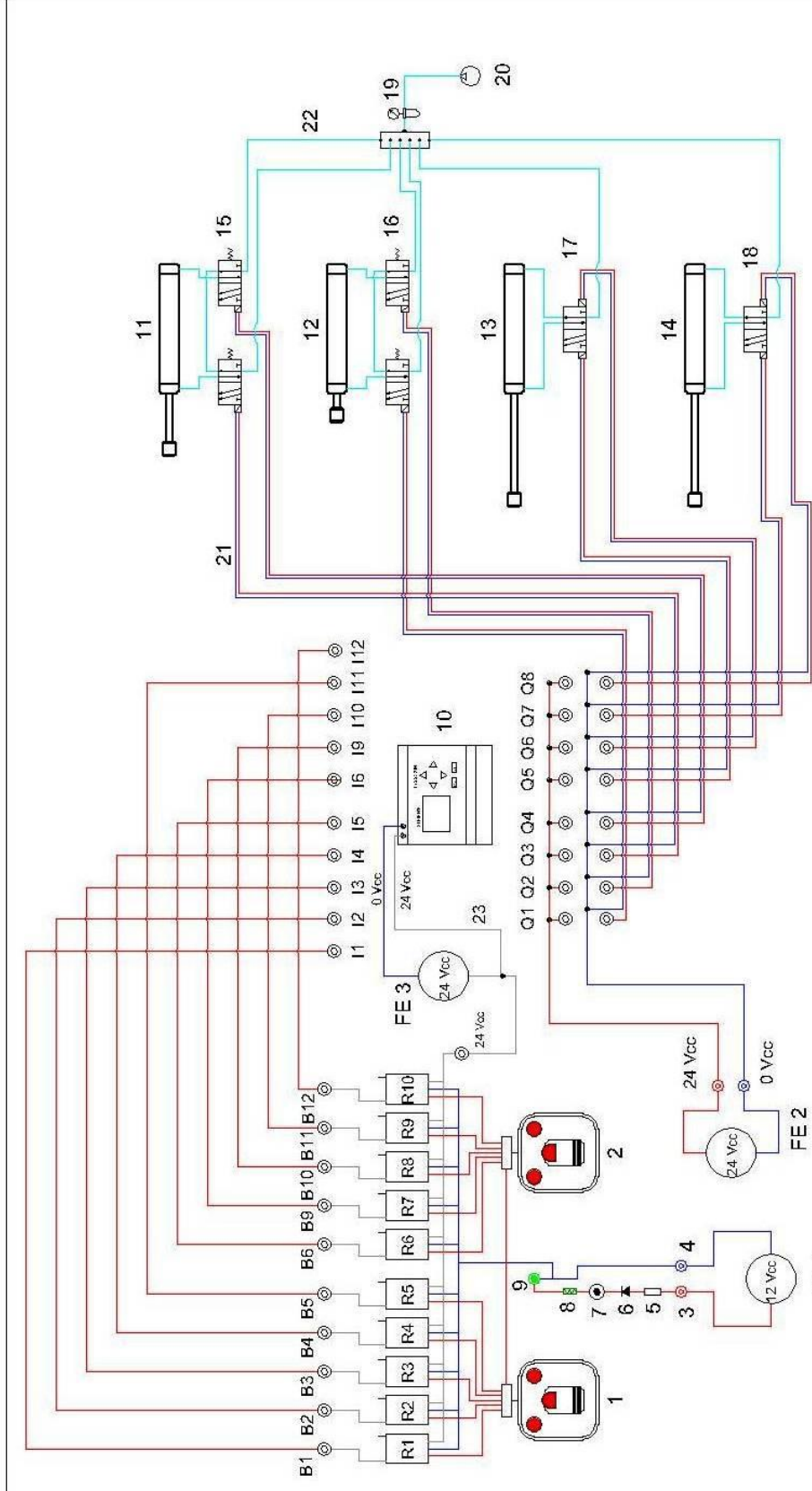
SILVA, Marcelo Eurípedes. **Curso de Automação Industrial**. Piracicaba. EEP. Setembro de 2007.

SPERRY VICKERS. **Manual de Hidráulica Industrial, 935100**. 8ª ed, 1983.

SEGALIA, Amauri. **A corrida pelo primeiro vôo.** Guia do Estudante, Setembro de 2006. Disponível em: <<http://guiadoestudante.abril.com.br/estudar/historia/corrída-pelo-primeiro-voo-434926.shtml>>. Acesso em 2 de julho de 2011

THE TITI TUDORANCEA BULLETIN. **Joystick.** Setembro de 2010. Disponível em: <<http://www.titudorancea.com/z/joystick.htm&usg=ALkJrhis7mS3w8TJTbYD-VYhVPkzTDrQ-w>>. Acesso em 02 de junho de 2011.

WALKER, Joel. **Elétro – Hidropneumática: Válvulas Direcionais.** Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI - SC. São Miguel do Oeste. 2010.



# Apêndice A

## Trabalho de Conclusão de Curso

### Circuito Eletropneumático

|                |  |
|----------------|--|
| UNIVERSIDADE   | FEEN-UNICAMP                           |
| ESPECIALIZAÇÃO | Engenharia de Engenharia de Piracicaba |
| ALUNO          | Marcelo Euripedes                      |
| ORIENTADOR     | 20/11/2011                             |
| DISCIPLINA     | 02                                     |
| PROFESSOR      | 01                                     |

- 21 - Cabos positivo e negativo
  - 22 - Mangueiras de ar
  - 23 - Positivo (CLP e válvula solenóide)
  - B - Bornes
  - R - Relés
  - I - Entradas
  - Q - Saídas
  - FE1 - Fonte Elétrica 1 (12Vcc)
  - FE 2 - Fonte Elétrica 2 (24 Vcc)
  - FE 3 - Fonte Elétrica 3 (24 Vcc)
- 11 - Cilindro 1
  - 12 - Cilindro 2
  - 13 - Cilindro 3
  - 14 - Cilindro 4
  - 15 - Válvula ac. solenóide e retorno mola
  - 16 - Válvula ac. solenóide e retorno mola
  - 17 - Válvula acionamento e retorno solenóide
  - 18 - Válvula acionamento e retorno solenóide
  - 19 - Unidade de conservação de ar
  - 20 - Compressor de ar
- 1 - Joystick 1
  - 2 - Joystick 2
  - 3 - Positivo
  - 4 - Negativo
  - 5 - Fusível
  - 6 - Diodo
  - 7 - Chave tecla
  - 8 - Resistor
  - 9 - LED
  - 10 - CLP Siemens