



**Universidade Federal de Goiás (UFG)
Instituto de Matemática e Estatística (IME)
Programa de Mestrado Profissional em
Matemática em Rede Nacional (PROFMAT)**



Bruno dos Santos Carvalho

**Conceitos de Lógica na Educação
Básica por meio de Relés e
Interruptores**

Goiânia
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Bruno dos Santos Carvalho

3. Título do trabalho

Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Thaynara Arielly De Lima, Professora do Magistério Superior**, em 24/07/2024, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Dos Santos Carvalho, Discente**, em 24/07/2024, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4693733** e o código CRC **FCDA69AA**.

Referência: Processo nº 23070.033351/2024-54

SEI nº 4693733

Bruno dos Santos Carvalho

Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional, do Instituto de Matemática e Estatística (IME), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Matemática.

Área de concentração: Matemática do Ensino Básico.

Orientadora: Profa. Dra. Thaynara Arielly de Lima

Goiânia

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Carvalho, Bruno dos Santos

Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores [manuscrito] / Bruno dos Santos Carvalho. - 2024.
263 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Thaynara Arielly de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Matemática e Estatística (IME), PROFMAT - Programa de Pós graduação em Matemática em Rede Nacional - Sociedade Brasileira de Matemática (RG), Goiânia, 2024.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Automação. 2. Relé. 3. Eletrônica. 4. Lógica Formal. 5. Ensino. I. Lima, Thaynara Arielly de, orient. II. Título.

CDU 51



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 16 da sessão de Defesa de Dissertação de **Bruno dos Santos Carvalho**, que confere o título de Mestre em Matemática, na área de concentração em Matemática do Ensino Básico.

Aos dezanove dias do mês de julho de dois mil e vinte e quatro, a partir das 14:30h, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores**”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Thaynara Arielly de Lima (IME/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Ana Paula de Araújo Chaves (IME/UFG), membro titular interno; Professor Doutor Thiago Porto De Almeida Freitas (IMTec/UFCat), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Thaynara Arielly de Lima, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos dezanove dias do mês de julho de dois mil e vinte e quatro.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **THIAGO PORTO DE ALMEIDA FREITAS, Usuário Externo**, em 19/07/2024, às 18:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thaynara Arielly De Lima, Professora do Magistério Superior**, em 19/07/2024, às 19:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula De Araujo Chaves, Professor do Magistério Superior**, em 22/07/2024, às 22:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4661182** e o código CRC **CEAE8FDE**.

Resumo

Este trabalho investiga como abordar conceitos de Lógica Matemática na Educação Básica e a relevância desta abordagem, subsidiados por ampla revisão bibliográfica e pela experiência do autor como docente na Educação Básica e discente no curso Técnico em Mecânica. A pesquisa confirma a importância dos conceitos de Lógica na construção da sociedade ao longo da história, manifestada no poder de elaboração e validação de argumentos e provas, na evolução da computação e na evolução da automação industrial e mostra experiências positivas de projetos análogos a este. A proposta oferece uma sequência didática que explora a revolução industrial, a evolução dos computadores, a automação industrial, a eletrônica e a Lógica presentes no acionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos. Para isso, faz-se uso de vídeos, textos, discussões orientadas e atividades práticas de simulação da construção de circuitos eletrônicos utilizando o aplicativo *Tinkercad*, evidenciando a aplicabilidade, o trabalho em grupo e a atividade prática. Propõe-se também um manual de montagem e uso de um painel de componentes eletrônicos para construção dos circuitos simulados na sequência didática, tendo como referência um painel de instrumentos elétricos industriais, com as devidas adaptações didáticas e de segurança. A pesquisa também contempla um panorama geral da evolução da indústria, dos mecanismos de acionamento de máquinas e da automação da produção, bem como uma revisão geral de alguns conceitos de Lógica Matemática presentes nos cursos superiores voltados para a ciência e tecnologia, para subsidiar a fundamentação teórica do professor que desejar aplicar a proposta.

Palavras-chave: Automação. Relé. Eletrônica. Lógica Formal. Ensino.

Abstract

This work investigates how to approach concepts of Mathematical Logic in Basic Education and the relevance of this approach through a literature review and the author's experience as a teacher in Basic Education and a student in a Technical Course in Mechanics. The research confirms the importance of the concepts of Logic in the construction of society throughout history, manifested in the power of elaboration and validation of arguments and proofs, in the evolution of computing and industrial automation, and it shows positive experiences of projects similar to ours. The proposal offers a didactic sequence exploring the Industrial Revolution, the evolution of computers, industrial automation, electronics and the use of Logic for activating electrical and electronic equipment. To do so, it uses videos, texts, guided discussions and practical simulation activity of constructing electronic circuits using the application *Tinkercad*, highlighting applicability, group work and practical activity. Also, a manual is designed to assemble and use a panel of electronic components for the construction of the simulated circuits in the didactic sequence, having as a reference a panel of industrial electrical instruments with the necessary didactic and safety adaptations. The research also includes a general overview of the evolution of the industry, the mechanisms of machine drive and the automation of production, as well as a general review of some concepts of Mathematical Logic present in higher education courses focused on science and technology, to support the theoretical foundation of the teacher who wishes to apply the proposal.

Keywords: Automation. Relay. Electronics. Formal Logic. Teaching.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Artefato Arqueológico: Computador Mecânico da Grécia Antiga	
Fonte: (G1.GLOBO.COM, 2016)	57
Figura 2 – Regulador de Esferas de James Watt	
Fonte: (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.16 - 17)	58
Figura 3 – Robô <i>Unimate</i>	
Fonte: < https://br.pinterest.com/pin/199706564709621444/ > Acesso em: 20 fev. 2024	59
Figura 4 – Robô <i>EVE</i>	
Fonte: (ÉPOCA, 2023)	60
Figura 5 – Primeira Máquina <i>CNC</i>	
Fonte: < https://www.rapiddirect.com/pt/blog/cnc-history/ > Acesso em: 20 fev. 2024	61
Figura 6 – <i>CNC</i> controlada por painel eletromecânico	
Fonte: < https://www.pinterest.jp/pin/43206477650859331/ > Acesso em: 20 fev. 2024	61
Figura 7 – <i>CNC</i> moderna	
Fonte: < https://www.directindustry.es/prod/comi-group/product-50365-1833052.html > Acesso em: 20 fev. 2024	62
Figura 8 – Imagem da tela de uma versão antiga do <i>Autocad</i>	
Fonte: < https://mfjacob.blogspot.com/2008/09/um-pouco-de-historia-do-autocad-dos.html > Acesso em: 20 fev. 2024	63
Figura 9 – Imagem da tela do <i>Autocad 2024</i>	
Fonte: < https://www.mustafadeliceoglu.com/2022/09/lisanssiz-autocad-kullanmak/ > Acesso em: 20 fev. 2024	63
Figura 10 – Imagem da tela do <i>Revit 2024</i>	
Fonte: < https://aportesingecivil.com/autodesk-revit-2024-multilenguaje/ > Acesso em: 20 fev. 2024	63
Figura 11 – Réplica do Somador Binário de Stibitz	
Fonte: < https://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/85/346?position=0 > Acesso em: 21 jan. 2024	69

Figura 12 – Relé antigo da Metaltex	
Fonte: (BRAGA, 2012, p.17)	70
Figura 13 – Contator moderno da WEG	
Fonte: < https://csaautomacao.com.br/store/contator-auxiliar-de-seguranca-cawbs-32-00d23.html > Acesso em: 21 jan. 2023	70
Figura 14 – Chave de Acionamento Elétrico Manual Antiga	
Fonte: < https://www.lilileiloeira.com.br/peca.asp?ID=5992309 > Acesso em: 18 jul. 2023	71
Figura 15 – Chave de Acionamento Elétrico Manual Antiga	
Fonte: < https://www.lilileiloeira.com.br/peca.asp?ID=5992309 > Acesso em: 18 jul. 2023	71
Figura 16 – <i>Component Library</i> do <i>FluidSIM</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	73
Figura 17 – Ícones de mudança de orientação	
Fonte: Produzida pelo autor	74
Figura 18 – Ícones de simulação	
Fonte: Produzida pelo autor	75
Figura 19 – Tela do <i>Software CADeSIMU</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	76
Figura 20 – Primeiro grupo de componentes	
Fonte: Produzida pelo autor	77
Figura 21 – Sétimo grupo de componentes	
Fonte: Produzida pelo autor	77
Figura 22 – Décimo grupo de componentes	
Fonte: Produzida pelo autor	77
Figura 23 – <i>PhET Colorado</i>: “Lei de <i>Faraday</i>”	
Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_all.html > Acesso em: 07 fev. 2024	79
Figura 24 – <i>PhET Colorado</i>: “Construção de Circuito”	
Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em: 07 fev. 2024	80

Figura 25 – <i>PhET Colorado: Interruptor Aberto</i>	
Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em:	
07 fev. 2024	80
Figura 26 – <i>PhET Colorado: Interruptor Fechado</i>	
Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em:	
07 fev. 2024	81
Figura 27 – Tela do <i>Tinkercad</i> “Circuito”	
Fonte: < https://www.tinkercad.com/dashboard?collection=designs >	
Acesso em: 16 fev. 2024	82
Figura 28 – Tela de “vista do circuito” do <i>Tinkercad</i> “Circuito”	
Fonte: Produzido pelo autor em: < https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits > Acesso em:	
16 fev. 2024	83
Figura 29 – Tela de “vista esquemática” do <i>Tinkercad</i> “Circuito”	
Fonte: Produzido pelo autor em: < https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits > Acesso em:	
16 fev. 2024	83
Figura 30 – Todos os componentes do <i>Tinkercad</i> “Circuito”	
Fonte: Produzido pelo autor em: < https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits > Acesso em:	
16 fev. 2024	84
Figura 31 – Simulação no <i>Tinkercad</i> “Circuito”	
Fonte: Produzido pelo autor em: < https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits > Acesso em:	
16 fev. 2024	84
Figura 32 – Salvamento automático do <i>Tinkercad</i>	
Fonte: < https://www.tinkercad.com/dashboard?collection=designs >	
Acesso em: 16 fev. 2024	85
Figura 33 – Estados de um interruptor	
Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.18)	111
Figura 34 – Interruptores em Série	
Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.19)	112

Figura 35 – Interruptores em Paralelo	
Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.19)	113
Figura 36 – Associação de Interruptores: Exemplo 4.3.1	
Fonte: Produzida pelo autor	114
Figura 37 – Associação de Interruptores: Exemplo 4.3.1, passo a passo	
Fonte: Produzida pelo autor	115
Figura 38 – Circuito Integrado 7432	
Fonte: < https://www.carrod.mx/products/ci-ttl-cuatro-compuertas-or-positiva-de-2-entradas-cada-una-74ls32 > Acesso em: 07 mar. 2024 . . .	119
Figura 39 – Porta Lógica <i>not</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	120
Figura 40 – Porta Lógica <i>and</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	120
Figura 41 – Porta Lógica <i>or</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	121
Figura 42 – Porta Lógica para a função: $x = \bar{a} + b$	
Fonte: Produzida pelo autor	121
Figura 43 – Porta Lógica para a função: $x = \overline{a \cdot b}$	
Fonte: Produzida pelo autor	122
Figura 44 – Porta Lógica <i>xor</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	122
Figura 45 – Porta Lógica <i>a</i> e não <i>b</i> ($x = a \cdot \bar{b}$)	
Fonte: Produzida pelo autor	124
Figura 46 – Estado original do circuito	
Fonte: Produzida pelo autor	127
Figura 47 – Quando o botão B é pressionado	
Fonte: Produzida pelo autor	128
Figura 48 – O botão B deixa de ser pressionado	
Fonte: Produzida pelo autor	128
Figura 49 – O contato T1 é aberto	
Fonte: Produzida pelo autor	128
Figura 50 – Porta do CLP	
Fonte: Produzida pelo autor	131

Figura 51 – Diagrama Elétrico e Diagrama Lógico do sistema, antes do acionamento do botão	
Fonte: Produzida pelo autor	132
Figura 52 – Diagrama Elétrico e Diagrama Lógico do sistema, logo após o acionamento do botão	
Fonte: Produzida pelo autor	133
Figura 53 – Painel de componentes	
Fonte: foto feita pelo autor	142
Figura 54 – Painel de componentes	
Fonte: foto feita pelo autor	142
Figura 55 – Desenho técnico do painel - ideia inicial	
Fonte: Produzida pelo autor	145
Figura 56 – Ilustração do painel - ideia inicial	
Fonte: Produzida pelo autor	145
Figura 57 – Desenho técnico do painel - versão final	
Fonte: Produzida pelo autor	145
Figura 58 – Ilustração do painel - versão final	
Fonte: Produzida pelo autor	146
Figura 59 – Transistor	
Fonte: < https://techonlineblog.com/types-of-transistors/ > Acesso em:	
17 mar. 2024	171
Figura 60 – Capacitor	
Fonte: < https://brasilescola.uol.com.br/fisica/capacitores.htm > Acesso em:	
17 mar. 2024	172
Figura 61 – Resistor	
Fonte: < https://brasilescola.uol.com.br/fisica/resistores.htm > Acesso em:	
17 mar. 2024	172
Figura 62 – Cores dos resistores	
Fonte: < https://www.tinkercad.com/things/k7AsKmw20b5-resistores/edit?elreturnTo=%2Fdashboard%3Ftype%3Dcircuits%26collection%3Ddesigns >	
Acesso em: 17 mar. 2024	173
Figura 63 – Potenciômetro	
Fonte: < https://www.arcadexpress.com/es/electronica-fuentes-alimentacion/488-potenciometro-lineal-b10k-de-3-pines-con-embellecedor.html > Acesso em:	
17 mar. 2024	173

Figura 64 – Diodo	
	Fonte: < https://electropreguntas.com/diodo-polaridad-y-aplicaciones-en-electronica/ > Acesso em: 17 mar. 2024 174
Figura 65 – LED	
	Fonte: < https://thaipublica.org/2014/10/led/ > Acesso em: 17 mar. 2024 175
Figura 66 – Circuito Integrado 555	
	Fonte: < https://todayscircuits.blogspot.com/2011/06/555-timer-complete-basic-guide.html > Acesso em: 17 mar. 2024 175
Figura 67 – Circuito Integrado 74HC08 - portas <i>and</i>	
	Fonte: < https://www.obaricentrodamente.com/2010/05/historia-do-computador-e-alguns-matematicos-que-contribuiram-para-seu-desenvolvimento.html > e < https://www.usinainfo.com.br/porta-logica/74hc08-circuito-integrado-porta-and-3945.html > Acesso em: 14 mar. 2024 177
Figura 68 – Circuito Integrado 74HC00 - portas <i>nand</i>	
	Fonte: < https://www.bragitoff.com/2015/01/74hc00-quad-2-input-nand-gate/ > Acesso em: 14 mar. 2024 178
Figura 69 – Circuito Integrado 74HC32 - portas <i>or</i>	
	Fonte: < https://robocon.vn/detail/ic19-ic-logic-74hc32-dip.html > e < https://www.turibot.es/ci-7432-74hc32-2uds > Acesso em: 14 mar. 2024 178
Figura 70 – Circuito Integrado 74HC02 - portas <i>nor</i>	
	Fonte: < https://www.electronicoscaldas.com/es/circuitos-digitales-74hc-series/98-compuertas-nor-74hc02.html > e < https://www.hnhcart.com/products/74hc02-quad-2-input-nor-gate > Acesso em: 14 mar. 2024 179
Figura 71 – Circuito Integrado 74HC86 - portas <i>xor</i>	
	Fonte: < https://muiravatco.blogspot.com/ > e < https://www.turibot.es/ci-7486-74hc86-2uds > Acesso em: 14 mar. 2024 179
Figura 72 – Protoboard 830 pontos	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . 194
Figura 73 – Relé DPDT	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . . 194
Figura 74 – Botão 4 pinos	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . . 195
Figura 75 – Interruptor de 2 contatos	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . 195

Figura 76 – LED	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 196
Figura 77 – Motor	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . . . 196
Figura 78 – Resistor	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . . . 196
Figura 79 – Capacitor	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . . . 197
Figura 80 – Potenciômetro	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 197
Figura 81 – Circuito Integrado 555	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 198
Figura 82 – Circuito Integrado 74HC32	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 198
Figura 83 – Circuito Integrado 74HC02	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 198
Figura 84 – Circuito Integrado 74HC86	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 199
Figura 85 – Circuito Integrado 74HC08	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . . . 199
Figura 86 – Circuito Integrado 74HC00	
	Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . . . 199
Figura 87 – Cabo macho	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 200
Figura 88 – Fonte para <i>proto</i>board	
	Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024 . 200
Figura 89 – Protótipo disponível no <i>Tinkercad</i>	
	Fonte: Produzida pelo autor 208
Figura 90 – <i>Proto</i>board - Painel (3 unidades)	
	Fonte: Produzida pelo autor 209
Figura 91 – Localização e simbologia Leia na horizontal	
	Fonte: Produzida pelo autor 210
Figura 92 – Painel - Unidade 01 Leia na horizontal	
	Fonte: Produzida pelo autor 211

Figura 93 – Painel - Unidade 02 Leia na horizontal	
Fonte: Produzida pelo autor	212
Figura 94 – Painel - Unidade 03 Leia na horizontal	
Fonte: Produzida pelo autor	213
Figura 95 – Ligando o LED 5	
Fonte: Produzida pelo autor	214
Figura 96 – Usando o botão 2	
Fonte: Produzida pelo autor	215
Figura 97 – Usando o interruptor 3	
Fonte: Produzida pelo autor	216
Figura 98 – Usando o relé 4	
Fonte: Produzida pelo autor	217
Figura 99 – CI 74HC32 e CI 74HC02	
Fonte: Produzida pelo autor	219
Figura 100 – Atuador Pneumático	
Fonte: < https://www.jartec.com.br/atuadores/pneumaticos/iso-standart-15552/atuador-pneumatico-smc-diametro-o63mm-curso-100mm/ > Acesso em: 04/02/2024	228
Figura 101 – Atuador giratório angular do tipo cremalheira	
Fonte: < https://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2016/10/actuadores-neumaticos.html > Acesso em: 14/02/2024	228
Figura 102 – Esquema do funcionamento do atuador pneumático de dupla ação	
Fonte: < https://www.mtibrasil.com.br/velocidade-de-um-cilindro-pneumatico.php > Acesso em: 04/02/2024	229
Figura 103 – Como funciona uma Válvula Solenoide 5/2 vias	
Fonte: < https://www.mtibrasil.com.br/como-funciona-valvula-solenoide-52.php > Acesso em: 14/02/2024	230
Figura 104 – Partes de uma Válvula Solenoide	
Fonte: < https://www.mtibrasil.com.br/como-funciona-valvula-solenoide-52.php > Acesso em: 14/02/2024	231
Figura 105 – Válvula de acionamento manual por alavanca	
Fonte: < https://duplacao.com.br/produto/valvula-spool-serie-clcm/ > Acesso em: 14/02/2024	231

Figura 106 – Lâmpada Apagada	
Fonte: Produzida pelo autor	234
Figura 107 – Lâmpada Acesa	
Fonte: Produzida pelo autor	234
Figura 108 – Relé Desligado	
Fonte: Produzida pelo autor	236
Figura 109 – Relé Ligado	
Fonte: Produzida pelo autor	236
Figura 110 – Representação gráfica Relé e Contator	
Fonte: (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.40-42)	237
Figura 111 – Como funciona um selo elétrico	
Fonte: Produzida pelo autor	238
Figura 112 – Contator com a bobina desenergizada	
Fonte: Produzida pelo autor com referência em Castro (2004, p.6)	240
Figura 113 – Contator com a bobina energizada	
Fonte: Produzida pelo autor com referência em Castro (2004, p.6)	240
Figura 114 – CLP da marca WEG	
Fonte: < https://www.mundodaeletrica.com.br/controlador-logico-programavel-clp/ > Acesso em: 24/02/2024	241
Figura 115 – Sala de controle da usina nuclear de Chernobyl	
Fonte: < https://flickr.com/photos/bbcworldservice/5411039578 > Acesso em: 24/02/2024	243
Figura 116 – Soft starter da marca WEG	
Fonte: < https://www.eser.com.br/produto/15/weg-soft-starter-ssw06 > Acesso em: 24/02/2024	245
Figura 117 – Comparação entre partidas de motores	
Fonte: (MATTEDE, 2024)	245
Figura 118 – Inversor de frequência da marca Siemens	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/inversor-de-frequecia-v20-200-240v-1ac-lo15kw-78a-220v/p/MLB27200470?item_id=MLB4184141526 > Acesso em: 24/02/2024	247
Figura 119 – \bar{a}	
Fonte: Produzida pelo autor	263
Figura 120 – $a \cdot b$	
Fonte: Produzida pelo autor	263

Figura 121 – $a + b$	
Fonte: Produzida pelo autor	264
Figura 122 – $a \cdot \bar{b}$	
Fonte: Produzida pelo autor	264
Figura 123 – $\bar{b} + c$	
Fonte: Produzida pelo autor	265
Figura 124 – $(a \cdot b) + (a \cdot c) + (b \cdot c)$	
Fonte: Produzida pelo autor	265
Figura 125 – $(a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}) + (b \cdot \bar{a} \cdot \bar{c})$	
Fonte: Produzida pelo autor	265
Figura 126 – Descrição da peça e do processo de fabricação	
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.2)	279
Figura 127 – Projeto da peça	
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.3)	280
Figura 128 – Código gerado para programação da máquina CNC	
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.4)	280
Figura 129 – Simbologia de componentes de acionamento elétrico	
Fonte: (HENRIQUE, 2009)	281
Figura 130 – Protoboard 830 pontos - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	287
Figura 131 – Protoboard 830 pontos - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	287
Figura 132 – Relé DPDT - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	287
Figura 133 – Relé DPDT - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	288
Figura 134 – Botão 4 pinos - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	288
Figura 135 – Botão 4 pinos - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	288
Figura 136 – Interruptor de 2 contatos - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	288
Figura 137 – Interruptor de 2 contatos - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024	289

Figura 138 – LED - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	289
Figura 139 – LED - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	289
Figura 140 – Motor - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	289
Figura 141 – Motor - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	290
Figura 142 – Resistor - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	290
Figura 143 – Resistor - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	290
Figura 144 – Capacitor - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	290
Figura 145 – Capacitor - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	291
Figura 146 – Potenciômetro - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	291
Figura 147 – Potenciômetro - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	291
Figura 148 – Circuito Integrado 555 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	291
Figura 149 – Circuito Integrado 555 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	292
Figura 150 – Circuito Integrado 74HC32 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	292
Figura 151 – Circuito Integrado 74HC32 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	292
Figura 152 – Circuito Integrado 74HC02 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	292
Figura 153 – Circuito Integrado 74HC02 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 . . .	293
Figura 154 – Circuito Integrado 74HC86 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Aceso em: 18 mar. 2024 .	293

Figura 155– Circuito Integrado 74HC86 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. . . 293
Figura 156– Circuito Integrado 74HC08 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. 293
Figura 157– Circuito Integrado 74HC08 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. . . 294
Figura 158– Circuito Integrado 74HC00 - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. 294
Figura 159– Circuito Integrado 74HC00 - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. . . 294
Figura 160– Cabo macho - orçamento 01	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. 294
Figura 161– Cabo macho - orçamento 02	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. . . 295
Figura 162– Fonte para <i>proto</i>board	
Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. 295
Figura 163– Fonte para <i>proto</i>board	
Fonte: < https://www.amazon.com.br/ > Acesso em: 18 mar. 2024	. . . 295

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela verdade: Negação	
Fonte: Produzida pelo autor	96
Tabela 2 – Tabela verdade: Dupla negação	
Fonte: Produzida pelo autor	96
Tabela 3 – Tabela verdade: Conjunção	
Fonte: Produzida pelo autor	97
Tabela 4 – Tabela verdade: Disjunção	
Fonte: Produzida pelo autor	97
Tabela 5 – Tabela verdade: Condicional	
Fonte: Produzida pelo autor	98
Tabela 6 – Tabela verdade: Bi condicional	
Fonte: Produzida pelo autor	99
Tabela 7 – Tabela verdade: Disjunção exclusiva	
Fonte: Produzida pelo autor	100
Tabela 8 – Tabela verdade: Conectivos Lógicos	
Fonte: Produzida pelo autor	101
Tabela 9 – Tabela verdade: $(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$	
Fonte: Produzida pelo autor	103
Tabela 10 – Tabela verdade: $(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$	
Fonte: Produzida pelo autor	105
Tabela 11 – Tabela verdade: H e R	
Fonte: Produzida pelo autor	106
Tabela 12 – Tabela verdade: <i>Contra-positiva</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	106
Tabela 13 – Tabela Verdade: <i>Recíproca e Contrária</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	107
Tabela 14 – Tabela Verdade: <i>lei de De Morgan: propriedade 16</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	108
Tabela 15 – Tabela Verdade: <i>lei de De Morgan: propriedade 17</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	108
Tabela 16 – Operações <i>Booleanas</i>	
Fonte: Produzida pelo autor	114

Tabela 17 – Tabela Verdade: $a \cdot (b + (c \cdot d))$	
Fonte: Produzida pelo autor	116
Tabela 18 – Propriedades Booleanas	
Fonte: Produzida pelo autor	116
Tabela 19 – Teoremas Booleanos	
Fonte: Produzida pelo autor	117
Tabela 20 – Conectivos Proposicionais, Operadores Booleanos, Portas Lógicas e Conjuntos	
Fonte: Produzida pelo autor	118
Tabela 21 – Algumas Portas Lógicas Derivadas	
Fonte: Produzida pelo autor	123
Tabela 22 – Tabela Verdade: $(x = a \cdot \bar{b})$	
Fonte: Produzida pelo autor	124
Tabela 23 – Tabela verdade: $\neg (A \wedge B) \wedge C$	
Fonte: Produzida pelo autor	185
Tabela 24 – Exercício 01 - Portas Lógicas Básicas	
Fonte: Produzida pelo autor	187
Tabela 25 – Exercício 02 - Portas Lógicas Básicas	
Fonte: Produzida pelo autor	188
Tabela 26 – Exercício 01 - Portas Lógicas Derivadas	
Fonte: Produzida pelo autor	189
Tabela 27 – Exercício 02 - Portas Lógicas Derivadas	
Fonte: Produzida pelo autor	190
Tabela 28 – Avaliação	
Fonte: Produzida pelo autor	192
Tabela 29 – Orçamento da montagem do painel	
Fonte: Produzida pelo autor	225
Tabela 30 – Tabela verdade: $P \wedge Q$ e R	
Fonte: Produzida pelo autor	250
Tabela 31 – Tabela: $(\neg P \vee \neg Q) \wedge (P \wedge \neg Q)$ e $\neg(P \wedge Q)$	
Fonte: Produzida pelo autor	251
Tabela 32 – Tabela verdade: Exemplo G.1.3	
Fonte: Produzida pelo autor	252
Tabela 33 – Tabela Verdade: $(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$	
Fonte: Produzida pelo autor	260

Tabela 34 – **Tabela de código de resistores**

Fonte: <https://eletrovieira.blogspot.com/2013_04_01_archive.html>

Acesso em: 17 mar. 2024 277

Tabela 35 – **Portas Lógicas**

Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.155) 285

Sumário

1	INTRODUÇÃO	33
1.1	Contextualização	33
1.2	Problema e Motivações	33
1.3	Hipóteses	34
1.4	Objetivos	35
1.4.1	Objetivo Geral	35
1.4.2	Objetivos Específicos	35
1.5	Aspectos Metodológicos	35
1.6	Contribuições da Pesquisa	36
1.7	Organização do Texto	37
2	ALGUMAS ABORDAGENS NA EDUCAÇÃO BÁSICA	39
2.1	Um pouco do panorama nacional	39
2.1.1	Ensino de Lógica de programação na Educação Básica, Batista (2019)	40
2.1.2	Revisão de Literatura realizada por Vargas, Silva e Finger (2022)	41
2.1.3	Relato por Bobsin et al. (2020), de oficinas aplicadas na escola básica	43
2.2	Breve recorte do panorama internacional	44
2.2.1	Equipe do Nrich, Universidade de Cambridge	44
2.2.2	Genesereth e Chaudhri, Universidade de Stanford	45
2.2.3	James Davis, Universidade de Boston	47
2.2.4	Um encontro de ideias	51
3	BREVE HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS	53
3.1	Revoluções Industriais	53
3.2	Automação de processos	57
3.2.1	Robôs	59
3.2.2	<i>MFCN</i>	60
3.2.3	Microcomputadores	62
3.2.4	<i>CAD-CAM</i>	62
3.2.5	Onde está a automação?	65
3.3	Relés e Contatores Eletromecânicos	67

3.4	Alguns Simuladores	72
3.4.1	<i>FluidSIM</i>	72
3.4.2	<i>CADeSIMU</i>	75
3.4.3	<i>PhET Colorado</i>	78
3.4.4	<i>Tinkercad</i>	81
3.5	Aplicação da Lógica na automatização da validação de provas matemáticas	86
4	LÓGICA MATEMÁTICA	89
4.1	Um pouco sobre Lógica Proposicional	89
4.2	Sintaxe e Semântica	94
4.2.1	Tabela Verdade	95
4.2.1.1	Negação	96
4.2.1.2	Conjunção	96
4.2.1.3	Disjunção	97
4.2.1.4	Condicional	98
4.2.1.5	Bi condicional	99
4.2.1.6	Disjunção exclusiva	100
4.2.1.7	Tabelas verdade para proposições compostas mais complexas	101
4.2.2	Equivalência lógica	105
4.3	Um pouco sobre Lógica <i>Booleana</i>	110
4.3.1	Símbolos, Sintaxe, Semântica e Funções <i>Booleanas</i>	111
4.3.1.1	Funções <i>Booleanas</i>	112
4.3.2	Portas Lógicas	117
4.3.2.1	Porta Lógica <i>not</i>	119
4.3.2.2	Porta Lógica <i>and</i>	120
4.3.2.3	Porta Lógica <i>or</i>	120
4.3.2.4	Portas Lógicas Derivadas	121
5	PROPOSTA DE ABORDAGEM DO ENSINO DA LÓGICA MATEMÁTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	125
5.1	Surgimento da ideia	125
5.1.1	Contatores Eletromecânicos	125
5.1.2	<i>CLP</i> e a linguagem de programação <i>Ladder</i>	130
5.2	Justificativa	133
5.3	Produtos	135

5.3.1	Sequência Didática	136
5.3.1.1	Avaliação	136
5.3.1.2	Como o material foi produzido	137
5.3.1.3	Como o material é oferecido	138
5.3.1.4	Requisitos para implementação da sequência didática	141
5.3.2	Manual Técnico	142
5.3.2.1	Evolução da ideia	143
5.3.2.2	<i>Protoboard</i> - Painel	146
	Conclusões e Trabalhos Futuros	149
	REFERÊNCIAS	153
	APÊNDICES	157
	APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA	159
A.1	Oficina 1 – Eletromagnetismo, Lei de <i>Faraday</i> e Solenoide	160
A.1.1	<i>(Momento de Acolhida - 15min.)</i>	160
A.1.2	<i>(1º Momento - 20min.):</i> Apresentação da sequência didática	160
A.1.3	<i>(2º Momento - 25min.):</i> Usando um solenoide	161
A.1.3.1	Vídeo: Motor V8 eletromagnético (Manual do Mundo) - 12:39 min.	161
A.1.4	<i>(3º Momento - 20min.):</i> Princípio de funcionamento do Solenoide e Lei de <i>Faraday</i>	162
A.1.4.1	Vídeo: Funcionamento de um solenoide (produzido pelo autor) – 2:07 min.	162
A.1.4.2	Simulação: Lei de <i>Faraday</i> (<i>PhET Colorado</i>)	162
A.1.5	<i>(Momento avaliativo - 15min.)</i>	162
A.2	Oficina 2 - Relés, Lógica <i>Booleana</i> e computadores antigos	163
A.2.1	<i>(Momento de Acolhida - 15min.)</i>	163
A.2.2	<i>(1º Momento - 15min.):</i> Como funciona um relé	163
A.2.2.1	Vídeo: Funcionamento de um relé (produzido pelo autor) – 2:03 min.	163
A.2.3	<i>(2º Momento - 30min.):</i> Como a eletricidade e a Lógica <i>Booleana</i> influenciaram a evolução dos computadores e a linguagem computacional	163
A.2.3.1	Vídeo: A revolução elétrica (Manual do Mundo) - 15:57min.	164
A.2.4	<i>(3º Momento - 20min.):</i> Cadastro no <i>Tinkercad</i>	164

A.2.4.1	Vídeo: Como se cadastrar e como usar o <i>Tinkercad</i> (produzido pelo autor) - 4:04min.	164
A.2.5	(<i>Momento avaliativo - 15min.</i>)	164
A.3	Oficina 3 – Entendendo os conectivos lógicos <i>and</i>, <i>or</i> e <i>not</i> com o uso de relés, interruptores em paralelo e interruptores em série . . .	165
A.3.1	(<i>Momento de Acolhida - 15min.</i>)	165
A.3.2	(<i>1º Momento - 25min.</i>): Interruptores em série e interruptores em paralelo e os conectivos <i>and</i> e <i>or</i>	165
A.3.2.1	Vídeo: Interruptores em paralelo e interruptores em série, conectivos lógicos <i>or</i> e <i>and</i> (produzido pelo autor) - 4:01min.	165
A.3.3	(<i>2º Momento - 25min.</i>): Usando um relé	166
A.3.3.1	Vídeo: Usando o relé (produzido pelo autor) - 5:21min.	166
A.3.4	(<i>3º Momento - 20min.</i>): Usando um relé para criar um circuito que está relacionado com o conectivo lógico <i>not</i>	166
A.3.4.1	Vídeo: Contato normalmente fechado do relé e o conectivo lógico <i>not</i> (produzido pelo autor) - 1:36min.	166
A.3.5	(<i>Momento avaliativo - 15min.</i>)	167
A.4	Oficina 4 – Aplicação de relés no acionamento de equipamentos industriais e no aprendizado de Lógica <i>Booleana</i>	167
A.4.1	(<i>Momento de Acolhida - 15min.</i>)	167
A.4.2	(<i>1º Momento - 40min.</i>): Construção de um selo elétrico com relé para o acionamento de equipamentos	167
A.4.2.1	Vídeo: Haste que gira (produzido pelo autor) - 3:36min.	168
A.4.2.2	Vídeo: Selo elétrico (produzido pelo autor) – 4:16min.	168
A.4.2.3	Vídeo: Desligando um selo elétrico (produzido pelo autor) - 3:58min.	168
A.4.2.4	Vídeo: Simulando o circuito de um semáforo (produzido pelo autor) - 1:54min.	168
A.4.3	(<i>2º Momento - 45min.</i>): Portas lógicas básicas	169
A.4.3.1	Portas lógicas <i>not</i> , <i>and</i> , <i>or</i> , com relés.	169
A.4.4	(<i>Momento avaliativo - 15min.</i>)	170
A.5	Oficina 5 – Portas lógicas em Circuito Integrado	170
A.5.1	(<i>Momento de Acolhida - 15min.</i>)	170
A.5.2	(<i>1º Momento - 40min.</i>): Portas lógicas derivadas	170
A.5.2.1	Portas lógicas <i>not</i> , <i>and</i> , <i>or</i> , <i>nand</i> , <i>nor</i> , <i>xor</i> , com relés	171
A.5.3	(<i>2º Momento - 35min.</i>): Alguns componentes eletrônicos e suas funções	171
A.5.3.1	Transistor	171

A.5.3.2	Capacitor	172
A.5.3.3	Resistor	172
A.5.3.4	Potenciômetro	173
A.5.3.5	Diodo	174
A.5.3.6	LED	175
A.5.3.7	Circuito Integrado	175
A.5.4	(Momento avaliativo - 15min.)	176
A.6	Oficina 6 – Conhecendo os Circuitos Integrados de Portas Lógicas e a protoboard	176
A.6.1	(Momento de Acolhida - 15min.)	177
A.6.2	(1º Momento - 35min.): Como funcionam os Circuitos Integrados de Portas Lógicas	177
A.6.2.1	Circuito Integrado and	177
A.6.2.2	Circuito Integrado nand	178
A.6.2.3	Circuito Integrado or	178
A.6.2.4	Circuito Integrado nor	179
A.6.2.5	Circuito Integrado xor	179
A.6.3	(2º Momento - 25min.): O que é e como usar a protoboard	180
A.6.3.1	Vídeo: Simulação de uma protoboard (produzido pelo autor) – 4:45min.	180
A.6.4	(3º Momento - 25min.): Painel de componentes eletrônicos para estudo da Lógica <i>Booleana</i> montado em protoboard	180
A.6.4.1	Protoboard - painel	180
A.6.5	(Momento avaliativo - 15min.)	181
A.7	Oficina 7 – Utilizando a protoboard para construir circuitos eletrônicos	181
A.7.1	(Momento de Acolhida - 15min.)	181
A.7.2	(1º Momento - 30min.): Acendendo um LED com relé na protoboard	182
A.7.2.1	Ligando um LED com um botão	182
A.7.2.2	Desligando um LED com um botão	182
A.7.3	(2º Momento - 30min.): Montando um circuito para acionamento de um motor com o painel montado na placa protoboard	183
A.7.4	(3º Momento - 40min.): Criando um circuito para visualizar uma frase lógica, com o painel protoboard	183
A.7.4.1	Acendendo LED com interruptores	184
A.7.4.2	Montando uma frase lógica	184
A.7.4.3	Preenchendo a tabela verdade	184

A.7.5	(<i>Momento avaliativo - 15min.</i>)	185
	APÊNDICE B – ATIVIDADE 01	187
B.1	Exercício - 01	187
B.2	Exercício - 02	188
	APÊNDICE C – ATIVIDADE 02	189
C.1	Exercício - 01	189
C.2	Exercício - 02	190
	APÊNDICE D – AVALIAÇÃO	191
	APÊNDICE E – MANUAL: <i>PROTOBOARD</i> - PAINEL	193
E.1	Lista de componentes	194
E.2	Projeto de montagem	201
E.2.1	Protótipo virtual	201
E.2.2	Placas <i>protoboard</i> - Placa virtual e placa disponível no mercado	201
E.2.3	Identificação das posições dos furos na placa	202
E.2.4	Primeira unidade do painel	203
E.2.4.1	Relés	203
E.2.4.2	<i>LED</i>	203
E.2.4.3	Resistores	204
E.2.4.4	Motores	204
E.2.4.5	Botões	204
E.2.5	Segunda unidade do painel	205
E.2.5.1	Interruptores	205
E.2.5.2	<i>LED</i>	205
E.2.5.3	Resistores	205
E.2.5.4	Circuitos Integrados (CI)	206
E.2.6	Terceira unidade do painel	206
E.2.7	Desenhos do Projeto de montagem	208
E.3	Manual de uso	214
E.3.1	Ligando um <i>LED</i>	214
E.3.2	Ligando um motor	215
E.3.3	Utilizando um botão	215
E.3.4	Utilizando um interruptor	216

E.3.5	Utilizando um relé	217
E.3.6	Utilizando os Circuitos Integrados de Portas Lógicas	218
E.3.7	Utilizando o temporizador	219
E.4	Exemplos de circuitos que podem ser montados	220
E.5	Orçamento	221
 APÊNDICE F – COMPLEMENTO DA SEÇÃO 3.2		227
F.1	Pneumática e Hidráulica	227
F.2	Uso e Funcionamento dos relés e dos contadores	233
F.3	Programação no controle da produção	241
F.3.1	Controlador Lógico Programável - <i>CLP</i>	241
F.3.2	Sistema de Controle Distribuído - <i>SDCD</i>	242
F.3.3	soft starter	243
F.3.4	Inversor de frequência	246
 APÊNDICE G – COMPLEMENTO DO CAPÍTULO 4		249
G.1	Complemento da Seção 4.1	249
G.1.1	Validação de Argumentos	249
G.1.1.1	Validação de Argumento com a construção da tabela verdade	250
G.1.1.2	Dedução Natural, Prova Direta e Prova Indireta	253
G.1.2	Redução de Conectivos	259
G.1.2.1	Forma normal conjuntiva (<i>fnc</i>)	261
G.1.2.2	Forma normal disjuntiva (<i>fnd</i>)	261
G.2	Operações com Conjuntos e Funções <i>Booleanas</i>	262
G.3	Um pouco sobre Lógica de Predicados	265
G.3.1	Semântica na Lógica de Predicados	267
 APÊNDICE H – LISTA DE <i>LINKS</i> DE MATERIAIS AUDIOVISU- AIS E SIMULAÇÕES		269
H.1	Materiais produzidos pelo autor e utilizados na proposta	269
H.2	Vídeos do canal do <i>YouTube</i> “<i>Manual Do Mundo</i>” recomendados pela proposta	272
 ANEXOS		275
 ANEXO A – TABELA DE CÓDIGO DE RESISTORES		277

ANEXO B – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO <i>G-CODE</i>	279
ANEXO C – SIMBOLOGIA GRÁFICA DE ALGUNS COMPONENTES DE ACIONAMENTO ELÉTRICO	281
ANEXO D – EQUIVALÊNCIAS LÓGICAS	283
ANEXO E – PORTAS LÓGICAS	285
ANEXO F – IMAGENS DE TELA DOS ORÇAMENTOS	287

1 Introdução

1.1 Contextualização

Esta proposta investiga a abordagem de conceitos de Lógica Matemática na Educação Básica, dada a relevância da Lógica na construção da sociedade, seja por meio da sua presença na elaboração de argumentos com base nos quais são tomadas decisões que definem futuros ou por sua presença nas linguagens computacionais, tanto de baixo nível, mais próximas da linguagem de máquina, quando de alto nível mais próximas da linguagem humana. O uso destas linguagens, por sua vez, esteve presente na evolução da tecnologia ao longo dos últimos séculos, que por sua vez transformou as relações sociais e os mecanismos de produção. A experiência do autor com acionamento eletromecânico também influenciou a escolha do tema, onde percebeu-se a modelagem da automação de máquinas por meio de Álgebra *Booleana*. Assim, vislumbrou-se a possibilidade da exploração dessa relação entre a Lógica e a automação industrial na Educação Básica.

A relação com outros conhecimentos e a aplicabilidade serão abordadas como mecanismos indispensáveis para a facilitação da compreensão dos temas e para a inserção do aluno como agente do processo de ensino-aprendizagem. Com a expectativa da participação satisfatória do aluno no processo, busca-se também fazer com que o aprendizado do tema seja lúdico, sem perdermos de vista o conteúdo a ser discutido: não nos interessa um aprendizado que seja divertido e vazio. Espera-se que o acréscimo da atividade prática com mecanismos concretos ou simulações virtuais, por meio do uso de aplicativos *Web*, e a interação dos alunos entre si e com o objeto estudado, seja uma boa estratégia para garantir o interesse e participação dos estudantes neste processo. Utilizaremos como recursos, contextualização, aplicabilidade e atividade prática e interativa, para construção dos produtos didáticos que oferecemos.

1.2 Problema e Motivações

O problema tratado pela pesquisa é: como abordar o ensino da Lógica na segunda fase do Ensino Fundamental e Ensino Médio da Educação Básica e qual a relevância dessa abordagem? Pesquisas como as de Vargas, Silva e Finger (2022) e Capelin (2016) sugerem que, apesar de serem obtidos resultados positivos com iniciativas que aplicam elementos

do raciocínio lógico em atividades nas escolas, o tratamento da Lógica Formal nem sempre é evidente. Existe espaço para a proposição de metodologias ativas e interdisciplinares, especificamente, envolvendo utilização de plataformas online para planejamento de projetos, bem como execução destes projetos utilizando equipamentos de baixo custo, para o ensino de aspectos da Lógica Proposicional no Ensino Básico.

Com o estudo deste problema pretende-se expor a presença de elementos da Lógica no processo de revolução tecnológica vivenciado nos últimos séculos, com ênfase no avanço da automação de processos, desde antes das primeiras máquinas elétricas até o surgimento das inteligências artificiais, evidenciando a presença deste elementos no acionamento eletromecânico e nos processos computacionais. E, a partir disso, evidenciar a necessidade da abordagem de conceitos de Lógica na Educação Básica. Pretende-se ainda explorar algumas metodologias que têm sido utilizadas para o ensino destes conceitos. E a partir daí e do estudo do acionamento eletromecânico vivenciado pelo autor em campo, propor uma forma alternativa de abordar o ensino da Lógica Matemática na Educação Básica.

1.3 Hipóteses

A revisão bibliográfica conduzida no capítulo 2 investiga a hipótese de que haverá sucesso no processo de ensino-aprendizagem de aspectos de Lógica na Educação Básica a partir de uma abordagem que promova a atividade prática e demonstre sua aplicabilidade e sua relação com outros conhecimentos. A exploração da interação de conhecimentos de diferentes áreas, é fator determinante no sucesso da formação integral do ser humano. Com uma abordagem coletiva é promovido o trabalho em grupo que favorece o preparo do discente para a vida em sociedade e para o trabalho colaborativo. A abordagem prática aproxima o aluno da aplicação do conhecimento e favorece o seu interesse pela atividade proposta. Acreditamos que o conhecimento pode engrandecer o ser, mesmo que nenhuma aplicação dele seja perceptível. Entretanto, muitas vezes a aplicabilidade constitui um aspecto importante no despertar do interesse pelo aprendizado teórico. Neste sentido, a exploração da aplicabilidade do tema, buscada pela proposta, justifica a relevância de sua abordagem.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é propor ferramentas para o ensino-aprendizagem da Lógica na segunda fase do Ensino Fundamental e no Ensino Médio da Educação Básica, com base na atividade prática e visando transformar o tema em um objeto de interesse dos envolvidos no processo.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para alcançar este objetivo, a pesquisa busca os objetivos específicos:

- Entender a evolução da automação de processos e perceber a presença de conceitos de Lógica na linguagem por meio da qual as máquinas são controladas.
- Entender como o ensino da Lógica tem sido abordado na Educação Básica e os resultados que têm sido obtidos.
- Estabelecer uma proposta baseada em dispositivos eletrônicos, relés e interruptores, por meio da elaboração de projetos de circuitos que simulem o acionamento de máquinas, para a aprendizagem de conceitos de Lógica.

1.5 Aspectos Metodológicos

A abordagem metodológica da pesquisa tem como referência o materialismo histórico que investiga como o objeto foi construído social e historicamente, por meio de uma pesquisa qualitativa, que busca a análise e a síntese do material disponível para a construção do texto e da proposta de intervenção. O instrumento de coleta de dados utilizado foi a revisão de literatura do tipo bibliográfica, que utiliza dados já tratados, trazidos em artigos, livros, páginas da internet, dissertações e textos técnicos, como fonte.

A pesquisa contou com revisão bibliográfica de trabalhos análogos. No âmbito nacional foram consultados repositórios como o *SciELO*, *Google Acadêmico* e repositório de dissertações do PROFMAT, onde foram realizadas buscas por títulos análogos ao nosso, seguida da leitura dos resumos dos artigos encontrados. Quanto aos autores internacionais foram consultados autores associados a universidades reconhecidas, que apresentaram propostas de ensino da Lógica para a Educação Básica. Fizemos, também, a revisão de

livros de Lógica Formal utilizados como referência em cursos de ensino superior utilizados no ensino de temas em Álgebra e Teoria da Computação, além da revisão de materiais voltados para cursos técnicos relacionados à automação industrial. Para a construção da redação científica utilizamos os textos Winques (2022) e Cervo, Bervian e Silva (2007). Também contribuiu para a pesquisa, a experiência adquirida pelo autor como professor de matemática na Educação Básica de 2014 à 2023 e nos cursos técnicos relacionados à indústria nos quais o autor foi discente, de 2019 a 2022 no Senai Ítalo Bologna em Goiânia-GO e no primeiro semestre de 2024 no Senai CIMATEC em Salvador-BA, em parceria com a Universidade Petrobras.

Na produção dos materiais didáticos disponibilizados, utilizamos o programa *FluidSIM* para a elaboração de diagramas de circuitos elétricos e o aplicativo *Tinkercad* para a elaboração das simulações oferecidas na sequência didática e no manual técnico. Para a elaboração do produto audiovisual de apoio, utilizamos os programas de computador *Autocad*, *Sketchup*, *PowerPoint* e o aplicativo *Clipchamp*.

1.6 Contribuições da Pesquisa

A pesquisa identifica uma lacuna nas abordagens do ensino da Lógica na Educação Básica. As abordagens mais comuns têm sido voltadas para a construção de argumentos na língua materna, para a programação com linguagens de alto nível, para a robótica e para a utilização do raciocínio lógico na solução de problemas e nem sempre explicitam a utilização de fórmulas e regras da Lógica Formal. Além disso, não foram encontradas propostas voltadas para a Educação Básica apoiadas na aplicação da Lógica no acionamento de máquinas, aspecto que exploramos.

Este texto traz uma coleção de exemplos de como a evolução tecnológica tem participado da transformação das relações sociais e dos meios de produção. Identifica-se a presença da Lógica *Booleana* no acionamento de máquinas, na linguagem de máquina e consequentemente na programação e na linguagem pela qual os dispositivos, obtidos desta revolução tecnológica, funcionam. Esta coletânea de exemplos constitui material importante para que o professor possa motivar o estudo do tema junto aos estudantes.

Este trabalho condensa conteúdos de Lógica Formal trazidos por autores reconhecidos. Exemplos de autoria própria e mais simplificados do que os usualmente encontrados na literatura da área são incluídos, na expectativa de oferecer subsídios para que o leitor menos familiarizado possa entender a fundamentação teórica. O estudo destes temas

permite o aprofundamento do professor que irá aplicar a proposta em sala de aula.

Outra contribuição consiste na elaboração de uma sequência didática que utiliza conceitos de automação industrial, evolução dos computadores, eletromagnetismo, acionamento eletromecânico e eletrônica, para modelagem de conceitos Lógicos em situações práticas. Para subsidiar sua implementação, produzimos textos motivadores de discussões em grupo e materiais audiovisuais como animações, vídeos explicativos disponibilizados no *YouTube* e simulações interativas no aplicativo *Web Tinkercad*. Também, apresenta-se um manual de montagem para a construção de uma versão concreta do painel virtual utilizado nas simulações criadas para a sequência didática.

1.7 Organização do Texto

Na sequência desta introdução, o texto traz 4 capítulos. O Capítulo 2 pesquisa algumas abordagens que têm sido adotadas para o ensino da Lógica na Educação Básica. O Capítulo 3 e o Apêndice F exemplificam situações cotidianas para evidenciar a presença de conceitos de Lógica em nossa sociedade. O conteúdo deste capítulo expõe a relevância da abordagem do tema e oferece um panorama geral da evolução da indústria e da automação industrial ao leitor que desejar ampliar seus conhecimentos sobre estes tópicos para a implementação a proposta trazida no Capítulo 5. Na seção final, o Capítulo 3 trata também da aplicação dos mecanismos da Lógica na automatização de provas matemáticas. O Capítulo 4 e o Apêndice G trazem conceitos de Lógica Formal, a fim de que este documento seja auto-contido com respeito aos conteúdos necessários para o entendimento da proposta didática. O Capítulo 5 apresenta os produtos didáticos da pesquisa: uma sequência didática e um manual técnico. Nos apêndices e nos anexos, temos os produtos com maiores detalhes e alguns textos que favorecem o aprofundamento do leitor nos temas tratados no desenvolvimento da pesquisa ou complementam os produtos didáticos.

Os exemplos que compõem o Capítulo 3 podem ser entendidos individualmente. O propósito é fornecer ao professor que irá aplicar a sequência didática uma ampla gama de situações, em que se visualize a aplicação da Lógica no cotidiano. Também, o leitor familiarizado com o tema pode omitir a leitura do Capítulo 4.

2 Algumas abordagens na Educação Básica

O ensino da Lógica Formal tem sido aplicado na educação superior em cursos relacionados a ciência e engenharia. Uma vez que a comunicação entre máquinas e a transmissão de sinal digital estão fundamentadas em uma linguagem binária e na álgebra *Booleana*, que se aplica a

modelos que buscam matematizar situações reais que se relacionam como o pensamento humano. Essa lógica é aplicada, segundo Daghlian (1995), em diferentes atividades humanas como a eletrônica, eletricidade e a computação [...] (BRAGA, 2015, p.22).

O intuito deste capítulo é trazer alguns exemplos de como estes conceitos têm sido trabalhados na Educação Básica. E buscar uma compreensão da relação das propostas estudadas com a linguagem formal da Lógica Proposicional. Além disso, verificar se a abordagem de temas relacionados a automação industrial têm feito parte dos exemplos pesquisados.

2.1 Um pouco do panorama nacional

A pesquisa conduzida por Capelin (2016) evidência uma certa dificuldade em diferenciar a Lógica Formal do conceito de raciocínio lógico, assim como uma dificuldade na utilização da sintaxe lógica para a representação de problemas escritos na linguagem tradicional. “Muitos professores afirmaram usar a Lógica em sala, mas [...] os exemplos que mais foram citados foram a resolução de problemas e atividades usadas esporadicamente, como jogos, desafios [...]” (CAPELIN, 2016, p.85). No entanto, os professores compreendem a necessidade de aprimoramento. Segundo a autora eles consideram importante a “capacitação ou formação continuada”. Outra situação evidente no texto da autora e também identificada na experiência deste autor em sala de aula é a dificuldade de interpretação de situações problema, escritos na língua materna, por meio de códigos lógicos e matemáticos. “A dificuldade em lidar com as diferentes linguagens, de associá-las, ou ainda transpassar de uma linguagem a outra é sentida pela grande maioria dos alunos” (CAPELIN, 2016, p.14).

À época, a pesquisa de Capelin (2016) também identificou uma “despreocupação” com relação ao ensino da Lógica na Educação Básica. Segundo a autora:

Ao analisarmos os documentos oficiais da Educação Básica e as DCEs¹ dos cursos de Matemática, nos deparamos com uma despreocupação com o ensino da Lógica, já que em nenhum destes documentos a Lógica é considerada área do conhecimento a ser trabalhada (CAPELIN, 2016, p.84).

E ainda, com relação à matemática, a autora comenta que “não encontramos a Lógica como Conteúdo Estruturante desta área, mas [...] percebemos que esta área do conhecimento está subentendida, por trás do currículo” (CAPELIN, 2016, p.84).

Neste sentido a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) trouxe avanços. Como veremos nos autores a seguir, o tema se faz mais presente, assim como o tema programação. Mas a Lógica ainda não é tratada como uma área do conhecimento a parte e as formas de se trabalhar seus conceito não estão muito bem definidas. Contudo, têm surgido propostas de como trabalhar os conceitos de Lógica na Educação Básica. Esta pesquisa contou com buscas aos repositórios *Google Acadêmico*, *SciELO*, repositório de dissertações do *PROFMAT* e uma busca por artigos de autores vinculados a universidades internacionais reconhecidas, produzidos na última década e que demonstraram resultados positivos com abordagens análogas à nossa. Foram utilizados na busca filtros como: “Abordagens para o ensino da Lógica na Educação Básica”, “Lógica na Educação Básica”, “Ensino de Lógica na Educação Básica envolvendo automação” e “Ensino de Lógica envolvendo o acionamento de máquinas”.

2.1.1 Ensino de Lógica de programação na Educação Básica, Batista (2019)

O autor alerta para a superficialidade do uso de novas tecnologias na educação no Brasil.

Os jovens têm contato com tecnologias cada vez mais cedo, inserindo *smartphones*, *tablets* e *notebooks* em suas atividades cotidianas. No entanto, falta para esse público explorar esses recursos computacionais de uma forma que exija o trabalho de raciocínio, melhorando a tomada de decisão e a criatividade. A Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) define competências para que a escola estimule o pensamento computacional dos jovens (BATISTA, 2019, p.21).

E defende a ampliação do uso das tecnologias para englobar o ensino da lógica de programação. “Entende-se que as escolas brasileiras precisam investir e pensar novos métodos pedagógicos, principalmente para explorar a aprendizagem utilizando as tecnologias” (BATISTA, 2019, p.21). E apresenta alternativas para essa aplicação das tecnologias, entre

¹ Nota nossa: Diretrizes Curriculares Estaduais

as quais está a linguagem de programação *Scratch*, que utiliza blocos lógicos de encaixe para formar algoritmos, de forma que só se encaixam se a sequência fizer sentido dentro da lógica computacional.

Foi realizado um projeto de extensão em uma escola pública, pelo autor, sobre a qual o mesmo destaca “Por parte da equipe do projeto, houve uma grande satisfação com o desempenho dos alunos concluintes” (BATISTA, 2019, p.45). Este sucesso não se repetiu em todas as experiências, foram relatados problemas como evasão e desinteresse. Mas os resultados foram positivos, mesmo com as adversidades encontradas no percurso. Os alunos inclusive, realizavam as tarefas de casa, “ficou constatado o interesse dos alunos na tarefa, pois quase 60% disseram que faziam tarefas do curso em casa” (BATISTA, 2019, p.48).

Além disso o autor cita as experiências positivas observadas em sua análise de trabalhos relacionados.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o ensino de programação nas escolas de Educação Básica pode contribuir para a formação dos alunos. Maciel, Mendes e Marques (2018) chegaram a resultados parecidos. Todos os alunos participantes de seu projeto indicaram melhora no desenvolvimento escolar inclusive com boa frequência nas aulas. [...] esse tipo de projeto estimula o desenvolvimento de raciocínio, criatividade, resolução de problemas com o pensamento computacional, que poderão beneficiar outras atividades do cotidiano dos participantes (BATISTA, 2019, p.47-48).

Outra constatação da pesquisa, foi o aumento do interesse dos alunos pelos temas tratados. Conforme mostram os resultados, muitos dos alunos que, antes do projeto afirmaram não ter conhecimentos sobre a área, após o projeto, demonstram interesse em ingressar em cursos superiores relacionados à programação ao final da Educação Básica, “o maior impacto para a pesquisa foi o crescente interesse em cursar programação no futuro” (BATISTA, 2019, p.50).

2.1.2 Revisão de Literatura realizada por Vargas, Silva e Finger (2022)

Os autores, buscam descobrir como o ensino da Lógica Matemática tem sido abordado a partir do pensamento computacional. Defendem que o pensamento computacional permite a identificação e a solução de problemas nas mais diversas áreas do conhecimento a partir de uma sequência de ações bem definidas. De onde vem sua importância para o pensamento computacional, para o raciocínio lógico matemático, bem como para as outras áreas do conhecimento. A abordagem de conteúdos de computação na Educação

Básica tem a capacidade de facilitar o desenvolvimento do raciocínio lógico matemático, além de favorecer o entendimento de conceitos fundamentais para os cursos de ensino superior na área da computação. Tal abordagem pode se dar tanto a partir da programação de computadores, quanto pela utilização de abordagens concretas, sem o uso de computador. Segundo Bobsin et al. (2020) estas são abordagens, respectivamente, *plugadas* e *desplugadas*.

Vargas, Silva e Finger (2022, p.1392) Defendem a importância do desenvolvimento do pensamento computacional na Educação Básica e trazem como uma de suas características “a organização e análise lógica de dados” e defendem que para isso, “conceitos de Lógica Matemática devem ser aprendidos desde cedo”. E citam sua presença na *BNCC* (Base nacional comum curricular).

Os autores conduzem uma “Revisão Sistemática da Literatura” para responder a pergunta “Que estratégias são utilizadas para o ensino de Logica Matemática a partir do Pensamento Computacional?”. Das intervenções pesquisadas, foram obtidos resultados “positivos” com atividade *plugada* envolvendo “um jogo digital educacional”. Foram evidenciados “melhor desempenho dos alunos nas disciplinas como matemática, após intervenção da abordagem *desplugada* (grifo nosso) com as histórias em quadrinhos”, combinadas com conceitos de ciência da computação (VARGAS; SILVA; FINGER, 2022, p.1397).

Também foram citados pelos autores, “experiência da aplicação de aulas com conteúdo de matemática utilizando um robô programável por meio de um tablet”. A utilização de “comandos de sequências lógicas para atravessar um tabuleiro [...] respondendo às perguntas matemáticas, para associar as habilidades de cooperação, de competição, de raciocínio logico e de agilidade”. E também foi mencionada contribuição para o desenvolvimento do raciocínio lógico obtida com uso de “programação nos softwares Scratch e Arduino” (VARGAS; SILVA; FINGER, 2022, p.1398-1399).

A pesquisa evidencia contribuições das abordagens das metodologias estudadas para o ensino do raciocínio lógico matemático, porém não foram destacadas as aplicações dos conceitos formais de Lógica Proposicional ou álgebra *Booleana*, conforme o autor,

Com os trabalhos retornados na revisão, nota-se que conceitos de Lógica Matemática são bastante utilizados para o ensino com Pensamento Computacional, porém não foram encontrados descritos os conteúdos devidamente ensinados em cada abordagem, tais como: álgebra Booleana; tabelas verdade; sintaxe e semântica de fórmulas logicas; provas de argumento (VARGAS; SILVA; FINGER, 2022, p.1400).

Além disso, também não foram mencionadas abordagens relacionadas ao con-

texto da automação industrial e do acionamento de máquinas, como também não foram encontradas nos demais textos examinados.

2.1.3 Relato por Bobsin et al. (2020), de oficinas aplicadas na escola básica

Os autores destacam a estreita relação entre a resolução de problemas matemáticos e o uso de diferentes recursos tecnológicos e a importância que a “forma e o meio escolhido pelo professor para explorar a resolução dos problemas”, assume frente ao recurso que se deseja apresentar. Onde o uso de jogos auxilia na compreensão do pensamento computacional, e da compreensão da sequência lógica envolvida. E a exploração de problemas onde “o estudante possa criar suas hipóteses, testar, reconstruir, e novamente tentar validar com ajustes, segundo seus conhecimentos, para a aprendizagem de Matemática” (BOBSIN et al., 2020, p.1474).

Os autores exploram a noção de que a atividade lúdica e interessante aos alunos, promove o trabalho em equipe e o empenho dos estudantes na busca de soluções, individual e coletivamente, para o problema dado. Tal postura proativa é desejável no processo de ensino aprendizagem contemporâneo onde: “O aprendente é ser ativo e pensante, capaz de produzir os conhecimentos de forma colaborativa. O professor torna-se a partir disso apenas um mediador” (CARVALHO et al., 2017, p.178).

Outro ponto é a busca do interesse dos alunos a partir da familiaridade dos mesmos com o tema. Onde os autores trazem que,

um elemento atrativo aos estudantes são as sequências lógicas para os problemas que são próximos da realidade de cada um, como por exemplo: o passo a passo para construir uma referência a uma pesquisa da escola, ou compreender como pagar uma conta digital em um site seguro, gerando o comprovante, inclusive. [...] e então se percebe o quanto o Pensamento Computacional está presente nas resoluções de problemas investigativos (BOBSIN et al., 2020, p.1474).

Por meio da investigação dos resultados obtidos com a aplicação de oficinas com alunos do 8º e 9º anos, os autores buscaram resposta para a pergunta: “Como atrelar o Pensamento Computacional na Escola Básica?” (BOBSIN et al., 2020, p.1474). Este pensamento computacional, por sua vez,

é compreendido como o método, a maneira, a forma de pensar presente na abstração/lógica de um problema, bem como suas possíveis resoluções de modo que estas sejam representadas de uma forma que pode ser testada, executada, logicamente por um processador, ancorada em artefatos computacionais (BOBSIN et al., 2020, p.1475).

Os autores trabalharam oficinas e verificaram as respostas antes e depois das oficinas para dois problemas, um utilizando técnica *plugada* e outro utilizando técnica *desplugada*.

No problema *desplugado* os alunos foram submetidos à um problema de deslocamento em uma matriz 4×4 , e em suas respostas eles elencaram quais e quantos movimentos seriam necessários para o preenchimento solicitado das células. No problema *plugado*, foi proposto um problema também de deslocamento, mas dessa utilizando aplicativo de computador e em uma situação que demanda maior poder de abstração.

Os dados coletados mostraram, segundo os autores, que “para o aluno, explorar o concreto é mais fácil, ajudando a organizar as ideias, e a estabelecer as operações lógicas, enquanto que a compreensão de problemas mais abstratos, demanda mais tempo e maior complexidade aos estudantes” (BOBSIN et al., 2020, p.1481).

2.2 Breve recorte do panorama internacional

2.2.1 Equipe do Nrich, Universidade de Cambridge

A equipe do Nrich ² (2013) traz, de acordo com o Oxford Compact English Dictionary que Lógica é “a ciência do raciocínio, prova, pensamento ou inferência” (NRICH, 2013) *tradução nossa*³. Ressaltando a importância da habilidade de raciocinar para o estabelecimento de discussões.

O texto avalia a necessidade da abordagem da Lógica na escola e no ambiente familiar, a partir da experiência de Clotilde Pontecorvo e Laura Sterponi no livro *Aprendendo para a Vida no Século XXI*⁴, onde, segundo Nrich (2013), se verifica em ambos os ambientes que as crianças são naturalmente levadas pela discussão a desenvolver suas narrativas a partir do raciocínio lógico. “A discussão seguiu padrões complexos envolvendo o uso de declarações hipotéticas com possíveis consequências negativas ou contrafactuais” (NRICH, 2013) *tradução nossa*⁵. Observou-se ainda que muitas vezes a argumentação está relacionada ao cumprimento de regras: “a mãe avisa a filha de 3 anos que ela não deve

² O Nrich é um programa complementar da família Millennium Mathematics Project, uma colaboração entre as Faculdades de Matemática e Educação da Universidade de Cambridge (NRICH, 2013).

³ Original: “the science of reasoning, proof, thinking or inference”

⁴ Referência oferecida pela equipe do Nrich: “Wells, G. and Claxton, G (eds) (2002). *Learning for Life in the 21st Century*. Oxford: Blackwell Publishing.”

⁵ Original: “The discussion followed complex patterns involving the use of hypothetical statements with possible negative or counter-factual consequences.”

dormir tarde (afirmação condicional), porque quando o fez em uma ocasião anterior, ela se sentiu mal (consequência negativa)” (NRICH, 2013) *tradução nossa*⁶.

Segundo o estudo o envolvimento das crianças em narrativas e suas visões contrastantes é fundamental para que elas se tornem mais conscientes do “pensamento”. Onde é fundamental que o professor seja receptivo às contribuições das crianças e encoraje este tipo de interação entre os alunos, tendo como resultado a melhoria da qualidade do raciocínio.

No mesmo sentido os autores Nrich (2013) trazem o trabalho de Mason e Watson⁷ no qual se sugere que o uso apropriado de perguntas e sugestões por parte do professor podem gerar nos alunos um pensamento matemático de ordem superior.

2.2.2 Genesereth e Chaudhri, Universidade de Stanford

Genesereth e Chaudhri ressaltam a antiguidade da disciplina Lógica e sua importância na filosofia e ciência no decorrer da história, “Ela remonta a Aristóteles”, bem como a atualidade do tema. Os autores discutem a utilização da lógica nas mais diversas situações: conversas pessoais, formulação de ideias, definição de conceitos e formalização de teorias. Além do uso do raciocínio lógico para tirar conclusões de informações e convencer outras pessoas destas conclusões. E destacam ainda, a especial importância do tema para a ciência da computação, e a importância que essa última tem assumido no cenário contemporâneo. “[...] a lógica é a linguagem da ciência da computação e a ciência da computação está indiscutivelmente se tornando tão importante quanto a física” (GENESERETH; CHAUDHRI) *tradução nossa*⁸.

Para os autores, a Lógica é até mesmo mais identificável que a “matemática quantitativa tradicional” (GENESERETH; CHAUDHRI). É defendido que para muitos alunos é mais confortável restabelecer relações qualitativas entre pessoas e coisas do que visualizar estas relações “reduzindo tudo a números”. Além disso a Lógica está presente e é útil no cotidiano, seja para a articulação de ideias e argumentos que promovem o convencimento, ou para que o indivíduo crie mecanismos de defesa contra informações exageradas, absurdas, ou para a compreensão do contexto e da validade da informação.

⁶ Original: “the mother warns her 3 year old daughter that she should not fall asleep late (conditional statement) because when she had done so on a previous occasion it had made her feel sick (negative consequence).”

⁷ Referência oferecida pela equipe do Nrich: Watson, A. and Mason, J. (1998). Questions and Prompts for Mathematical Thinking. Derby: Association of Teachers of Mathematics.

⁸ Original: “[...]logic is the language of computer science and computer science is arguably getting to be as important as physics.”

Os autores mencionam a utilidade da Lógica na vida cotidiana, onde

Anunciantes, políticos, empresas, organizações, amigos, familiares e especialistas querem que compremos seus produtos, votemos neles ou apoiemos o que eles acreditam e querem fazer. A Lógica nos ajuda a identificar o exagero, o absurdo, quem está errado e quem está certo (GENESERETH; CHAUDHRI) *tradução nossa*⁹.

Traz-se também a importância do uso da Lógica por computadores, nas provas de teoremas, na validação de projetos de engenharia, no diagnóstico de falhas e na identificação e análise de leis e padrões que regem negócios. Além da aplicação na interface entre homem e máquina em que tem se tornado mais comum, “onde os usuários podem visualizar e editar sentenças lógicas.”

E a lógica às vezes é usada não apenas por usuários na comunicação com sistemas de computador, mas também por engenheiros de software na construção desses sistemas (usando uma metodologia de programação conhecida como programação lógica) (GENESERETH; CHAUDHRI) *tradução nossa*¹⁰.

Alguns elementos da Lógica, na visão defendida, são inatos. Já outros “precisam ser ensinados explicitamente”. Para os gregos a lógica era suficientemente importante para que esta disciplina fizesse parte do “Trivium grego” juntamente com a Gramática e a Retórica. Diferentemente do sistema educacional americano, no qual “A lógica ocupa um lugar relativamente pequeno no currículo moderno” (GENESERETH; CHAUDHRI).

Reconhecidamente, alguns elementos de lógica aparecem nos cursos do Ensino Médio hoje, por exemplo, provas elementares de geometria, discussões de falácias em cursos de redação e, é claro, dicas e técnicas para usar mecanismos de busca e outros sistemas de computador. No entanto, a Lógica não é ensinada como um tópico autônomo na maioria das escolas secundárias hoje. Imagine dizer que não precisamos ensinar aritmética porque alguns dos elementos são abordados na química e na história (GENESERETH; CHAUDHRI) *tradução nossa*¹¹.

⁹ Original: “Advertisers, politicians, companies, organizations, friends, family, and experts want us to buy their products, vote for them, or support what they believe and want to do. Logic helps us spot the hype, the nonsense, who is wrong and who is right.”

¹⁰ Original: “And Logic is sometimes used not just by users in communicating with computer systems but by software engineers in building those systems (using a programming methodology known as logic programming).”

¹¹ Original: “Admittedly, some elements of logic do appear in secondary school courses today, e.g. elementary proofs in geometry, discussions of fallacies in writing courses, and of course tips and techniques for using search engines and other computer systems. However, Logic is not taught as a standalone topic in most secondary schools today. Imagine saying we do not need to teach arithmetic because some of the elements are covered in chemistry and history.”

Ainda na visão dos autores o ensino da Lógica deve ser disponibilizado em todas as escolas de Ensino Médio americanas. “A lógica tem que ser e deve ser ensinada a todos os alunos se quisermos formar cidadãos responsáveis.” Os mesmos justificam sua visão na argumentação de que a educação lógica é indispensável para que o indivíduo saiba fazer “as perguntas certas a seus líderes”, saiba identificar falácias e saiba como tomar decisões. É defendida, pelo texto, a necessidade da fluência em Lógica para manutenção da cidadania e democracia, e portanto, a necessidade de sua inclusão no currículo. E que o treinamento em Lógica seja tratado com seriedade. E complementam: “Com formação em lógica, os alunos estarão bem preparados para carreiras em STEM¹², tão críticas para qualquer país ser competitivo no mundo moderno” (GENESERETH; CHAUDHRI,).

2.2.3 James Davis, Universidade de Boston

Na visão do filósofo James Davis¹³ (2014), ainda que a Lógica não exista como curso independente em muitos currículos pré-universitários, pensar logicamente é crucial para muitos trabalhos acadêmicos. É esperado que o estudante aprimore gradualmente sua habilidade de argumentar e fundamentar ideias, na medida em que avança na Educação Básica. Ainda que seja difícil adaptar o currículo para que o mesmo contemple a Lógica como uma disciplina independente, é possível, na visão de Davis, que as ferramentas da Lógica sejam evidenciadas nas atividades de outras disciplinas. Nas palavras do autor,

Embora as escolas possam achar difícil encaixar um curso de lógica em seu currículo, elas podem achar mais fácil dedicar pequenas porções de seus cursos existentes para aprender ferramentas lógicas específicas. Ao longo dos anos, frequentemente dediquei tempo às minhas próprias aulas de história, bem como ao trabalho com meus colegas de matemática, para ensinar raciocínio lógico (DAVIS, 2014) *tradução nossa*¹⁴.

Davis (2014), comumente, adota uma abordagem interativa, na busca por ajudar seus alunos a entender as ferramentas que estão sendo ensinadas. Entre elas destacam-se algumas atividades:

¹² STEM é o acrônimo formado pelas iniciais das palavras ciência, tecnologia, engenharia e matemática, em inglês.

¹³ James Davis é Ph.D. em filosofia pela Boston University e ensina filosofia e história na Boston University Academy. Ele ensinou Lógica e atuou como Reitor Acadêmico do Programa Center for Talented Youth da Universidade Johns Hopkins. Ele também faz parte do conselho de diretores da Philosophy Learning and Teaching Organization (PLATO) e do conselho editorial de Questions: Philosophy for Young People. Disponível em: <https://www.plato-philosophy.org/james-davis-logic-in-the-classroom-fou>. Acesso em: 8 mai. 2023

¹⁴ Original: “While schools may find it difficult to fit a logic course into their curriculum, they might find it easier to devote small portions of their existing courses to learning specific logical tools. Through the years, I have frequently taken time in my own history classes, as well as working with my mathematics colleagues, to teach logical thinking.”

Diagramas de Venn Humanos

É comum, como destaca o autor, que os alunos tenham dificuldades em compreender os conceitos relacionados ao *Diagrama de Venn*. Tendo este fato em vista o autor propõe uma atividade que se inicia com o desenho *Diagramas de Venn* no chão em uma área externa a sala de aula. O autor menciona que,

Pode-se usar uma variedade de métodos para representar os círculos: de colar ou grampear cordas coloridas a giz e cartolina grande. Para representar regiões sombreadas no diagrama, use cartolina preta que os alunos possam colocar nas regiões apropriadas. Em seguida, crie três categorias que se aplicam aos seus alunos. Por exemplo, “alunos usando óculos”, “alunos usando relógios” e “alunos com telefones celulares” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*¹⁵.

A partir daí os alunos podem construir os mais diversos silogismos a partir das categorias criadas por argumentos do tipo:

- (1) Todos os alunos que usam relógios são alunos que possuem telefones celulares.
 - (2) Alguns alunos que possuem celulares são alunos que não usam óculos.
 - (3) Portanto, nenhum aluno que usa óculos é aluno que usa relógio.
- (DAVIS, 2014).

A cada aluno deve ser atribuída uma premissa então os alunos se distribuem no diagrama de acordo com a premissa inicial, de modo que a presença do aluno em uma categoria do diagrama significa que ele é elemento daquela categoria.

As novas premissas vão sendo apresentadas e isso faz com que o aluno modifique sua posição, para ocupar a categoria correspondente a nova premissa atribuída. De modo que cada aluno ocupe uma categoria de cada vez de acordo com a premissa indicada. Dadas todas as premissas o aluno estará ocupando a posição que contemple todas as premissas atribuídas a ele. Para finalizar o exercício “Os alunos devem concluir o exercício explicando como seu Diagrama de Venn humano estabeleceu a validade ou invalidade do silogismo” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*.

O autor ressalta o sucesso obtido com a atividade: “Os alunos acham que este exercício, além de divertido, os ajuda a visualizar melhor o que está acontecendo nos

¹⁵ Original: “One can use a variety of methods to represent the circles: from taping or stapling colored strings to chalk to large poster board. To represent shaded out regions in the diagram, use black construction paper that students can put in the appropriate regions. Next, create three categories that apply to your students. For example, “students wearing glasses,” “students wearing watches,” and “students possessing cell phones.” ”

diagramas” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*. Em complemento, o autor deixa a sugestão de que, no decorrer do processo, os alunos sejam orientados a explicar sua posição e suas mudanças de posição em função das novas premissas atribuídas.

Falácia do dia

Nesta atividade o autor despende cerca de 10 minutos de uma aula por semana, para apresentar e discutir uma falácia informal com seus alunos. Somando ao final do ano letivo um grande número de discussões sobre erros de raciocínio. “De fato, aprender as falácias é inestimável para desenvolver a capacidade de nossos alunos de avaliar e criticar argumentos e posições” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*.

O tempo gasto com as atividades vale a pena “pois os alunos se sentem fortalecidos ao reconhecer estas falácias e muitas vezes as procuram ativamente em suas leituras” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*. Alguns alunos até podem tentar utilizar estas novas habilidades para manipular os colegas, no entanto, é mais difícil se dar esta manipulação, uma vez que os outros colegas também possuem tais ferramentas lógicas, que servem para que o aluno se defenda dos argumentos falaciosos.

“O que a Tartaruga Disse a Aquiles”

Nesta proposta de atividade o autor explora a diferença entre contradição e paradoxo. Onde expõe problemas como o de “Aquiles e a Tartaruga”¹⁶, com relação a aplicação desta atividade o autor ressalta que,

Os paradoxos da “Dicotomia” e “Aquiles e a Tartaruga” são particularmente preocupantes para os alunos, pois eles “sabem” que o movimento é possível, mas o raciocínio de Zenão parece correto (DAVIS, 2014) *tradução nossa*¹⁷.

Na visão de Davis (2014), os alunos se sentem desafiados pelos paradoxos e isso facilita a compreensão da diferença entre contradição e paradoxo. Também é proposta uma atividade envolvendo a interpretação de histórias como Alice no País das maravilhas e Alice através do espelho, onde os alunos discutem e explicam as situações paradoxais expostas.

¹⁶ Aquiles, conhecido por sua velocidade, decide apostar corrida com uma tartaruga. Como a velocidade de Aquiles é maior, a tartaruga recebe uma vantagem, começando a corrida pouco à frente da linha de largada. De acordo com o paradoxo, Aquiles nunca alcançaria a tartaruga, pois quando ele chegar à posição inicial da tartaruga, esta encontra-se mais a frente, numa outra posição. Quando Aquiles chegar à próxima posição, a tartaruga caminhou para uma nova posição e assim infinitamente (NETMUNDI.ORG, 2020).

¹⁷ Original: “The paradoxes of the “Dichotomy” and “Achilles and the Tortoise” are particularly troubling for students as they “know” that moving is possible, yet Zeno’s reasoning seems correct.”

Com tal abordagem, nas palavras do autor, os “alunos acham as histórias divertidas de ler e também gostam de discutir seu uso lúdico da lógica” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*.

Na mesma proposta os alunos podem formular um paradoxo como dever de casa, onde eles são estimulados a reproduzir as argumentações de Zenão ou criar as suas próprias. “Os alunos acharão o último difícil, mas seus esforços podem ser usados para ter discussões instrutivas sobre como a contradição e o paradoxo diferem um do outro” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*.

“Pato; Pato; Refutar!”

Por último no mesmo artigo está disponível um exercício que é uma variante do jogo “Pato, Pato, Ganso”¹⁸, brincadeira comum entre as crianças norte americanas. O autor defende que este é um exercício que ajuda os alunos na prática de “falar em público e pensar em pé” (DAVIS, 2014) *tradução nossa*. Nesta variante, os alunos fazem uma leitura prévia sobre um tema em um momento anterior, sobre a qual o orientador destaca um ponto controverso para apresentar no momento da brincadeira. No momento da realização da prática os alunos formam um círculo com um aluno que fala em primeiro lugar segurando uma bola de tênis. Este argumenta em favor ou contra o ponto controverso levantado pelo instrutor. Após sua fala o aluno joga a bola para outro que deve refutar a fala do primeiro. O terceiro aluno tenta refutar o segundo e defender a posição tomada pelo primeiro, e assim sucessivamente. Na fala do autor:

Acho que este exercício funciona bem para brainstorming sobre o material, mas também o usei para treinar os alunos em falar em público e argumentar para conferências do Modelo das Nações Unidas. Dependendo do tamanho da turma, o restante dos alunos pode servir como um júri que pode debater e decidir qual lado do argumento tem a melhor posição (DAVIS, 2014) *tradução nossa*¹⁹.

O autor conclui que estas práticas “minimamente intrusivas dentro de um currículo estabelecido” em escolas que não oferecem cursos de Lógica, contribuem para que os alunos obtenham algum aprendizado de raciocínio lógico de maneira divertida. “Os alunos se

¹⁸ Na brincadeira original as crianças escolhem, na sorte, quem vai ser o ganso (criança A). Em seguida sentam-se em roda. O Ganso caminha batendo na cabeça das demais e dizendo: “pato, pato, pato, ganso”. A criança B, tocada neste momento deve correr atrás do outro (criança A). Se conseguir alcançá-lo ganha e o outro (criança A) volta a ser o ganso. Mas se ou outro (criança A) conseguir ocupar o lugar vago pela criança B antes de ser tocado, a criança B passa a ser o ganso e a brincadeira continua (FOLHA.COM, 2011).

¹⁹ Original: “I find this exercise works well for brainstorming about the material, but I have also used it to train students in public speaking and arguing for Model United Nations conferences. Depending on class size, the rest of the students can serve as a jury that can debate and decide which side of the argument has the better position.”

beneficiarão ao pensar com mais clareza e rigor em muitos de seus cursos, especialmente aqueles em que formular e defender uma posição argumentada são centrais” (DAVIS, 2014).

2.2.4 Um encontro de ideias

Nrich (2013) deixa clara a indispensabilidade do raciocínio lógico na vida cotidiana, desde a infância, suas aplicações e a necessidade de estímulo ao raciocínio lógico como de fundamental importância para o refinamento do pensamento matemático. Genesereth e Chaudhri argumentam a respeito da tradição grega, onde a Lógica figurava entre os mais importantes pilares daquela sociedade. E questionam o tratamento menor que se tem dado a este ramo do pensamento no contexto da educação contemporânea. Compreendemos que, para estes autores, a Lógica deveria compor o currículo da Educação Básica de forma independente. E não como ocorre nos currículos atuais, onde a mesma é mencionada apenas eventualmente, quando uma de suas ferramentas é útil em outra ciência. Já Davis (2014), em contraponto a Genesereth e Chaudhri, apresenta uma alternativa, expõe suas experiências, segundo ele, bem-sucedidas no que tange a uma abordagem diferenciada de ferramentas da Lógica em outras disciplinas. Destas ideias, percebemos que a abordagem da Lógica é fundamental, mesmo que não seja tratada com o delineamento desejável no trabalho de Genesereth e Chaudhri, em razão das limitações curriculares. Caso em que a experiência de Davis (2014) oferece mecanismos para que o aluno possa se aproximar do pensamento lógico. E a partir dessa aproximação possa alcançar o refinamento intelectual desejável no cidadão consciente, como defendido pela equipe do Nrich (2013).

No Brasil, os conceitos de Lógica se fazem presentes na matriz curricular, inseridos no contexto do pensamento computacional.

Atualmente, o Pensamento Computacional está presente na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), sendo desenvolvido na Educação Básica e estimulado na área de matemática, desenvolvendo capacidade de compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e suas soluções, de forma metódica e sistemática, por meio do desenvolvimento de algoritmos (VARGAS; SILVA; FINGER, 2022, p.1391).

Ainda que a nova BNCC traga os temas raciocínio lógico matemático e pensamento computacional e reforça o envolvimento dos recursos tecnológicos nas aplicações de sala de aula, Lógica Matemática e conectivos lógicos não são expressões evidentes nas habilidades trazidas para matemática por esta base curricular.

Além disso, nos trabalhos investigados por Vargas, Silva e Finger (2022), assim como nas oficinas propostas por Bobsin et al. (2020) e na pesquisa conduzida por Capelin (2016), não fica evidente a aplicação da linguagem formal da Lógica Proposicional ou da álgebra *Booleana*. Outro ponto de atenção é a dificuldade que os alunos tem tido em interpretar problemas, descritos na língua materna, com a linguagem lógica e matemática, identificada por Capelin (2016).

É frequente a menção acerca da relação entre o raciocínio lógico e o pensamento computacional e a importância do domínio dos mesmos na solução de problemas matemáticos e na formação integral do educando. Contudo, a prática pedagógica do ensino dos conceitos formais de Lógica, merece mais atenção, como defende Batista (2019) em sua pesquisa relacionada com ensino da Lógica de programação. Esta é uma lacuna que exploraremos no produto proposto, assim como o fato de não terem sido encontradas iniciativas que explorem a relação entre o ensino da Lógica e o acionamento de máquinas ou a automação da indústria.

3 Breve Histórico das Revoluções Industriais e Automação dos Processos

3.1 Revoluções Industriais

A revolução da indústria passou por quatro grandes etapas nos últimos dois séculos e meio, transformando a maneira como os produtos são obtidos e utilizados pelas pessoas, estas etapas serão descritas nos próximos parágrafos. Neste período a indústria saltou de uma produção artesanal de quantidades e variedades de produtos limitadas e de alto custo, para uma produção em larga escala, mecanizada, automatizada, diversificada e de baixo custo. Se analisarmos os princípios de funcionamento dos equipamentos industriais vemos que a Lógica esteve presente desde o início. O regulador de esferas de James Watt (Figura 2) é um exemplo disso. O dispositivo era abastecido com uma informação sobre a velocidade de um motor a vapor e atuava para controlá-la. Se a velocidade se elevasse o dispositivo atuava no sentido de diminuí-la, se ela diminuísse o dispositivo atuava no sentido de aumentá-la. Podemos fazer uma analogia desse dispositivo com a função do conectivo lógico “not”, não é mesmo? Contudo, o desenvolvimento da microeletrônica, da computação, da robótica e da conectividade foram definitivos para o alcance dos padrões atuais da indústria. A Lógica é uma parte fundamental desse processo, uma vez que a linguagem por meio da qual se dá a comunicação entre os componentes microeletrônicos e computacionais e as máquinas é baseada na *Álgebra Booleana*.

Apesar da grande diversidade de tipos de computadores e dispositivos eletrônicos surgidos a partir do século XX, “Todos esses computadores são baseados na lógica da álgebra Booleana, têm um tipo de sinal que significa “0” e um tipo de sinal que significa “1”, e contém dispositivos que operam nesses sinais de acordo com as funções lógicas Booleanas” (GREGG, 1998) *tradução nossa*¹.

A **indústria 1.0**, “A Primeira Revolução Industrial tem como marco o ano de 1765 e a descoberta e extração em massa de carvão mineral e minério de ferro” (ROBOTS, 2022). Essa indústria aproveitou estes produtos, o primeiro como fonte de energia para a mecanização dos processos e o segundo como fonte de matéria prima para construção

¹ Original: All of these computers are based on the logic of Boolean algebra, have one kind of signal that means "0" and one kind of signal that means "1," and contain devices that operate on these signals according to the Boolean logic functions.

das máquinas. As máquinas a vapor revolucionaram os processos de fabricação e também, o setor de transportes que agora podiam contar com trens a vapor em substituição aos veículos de transporte animal.

Entre tantas mudanças provocadas pela nova indústria, um exemplo foi a padronização das medições de tempo. Antes da invenção da máquina a vapor o dia já era dividido em 12 partes e já se registrava a passagem do tempo, no entanto os relógios eram acertados com o sol ao meio dia em cada cidade. Isso provocava um atraso no horário de uma cidade que estivesse a oeste da outra devido ao movimento de rotação da Terra. Com o surgimento das viagens em trens a vapor pela Europa, houve a necessidade de padronização destes horários, para auxiliar na previsibilidade dos horários das viagens, tanto de trem quanto de navio. O horário da cidade de *Greenwich* no Reino Unido foi definido como o horário padrão para o acerto dos relógios, dada sua importância no contexto dos transportes naquela época.

A **segunda revolução industrial** surge a partir dos anos 1870 com a descoberta do petróleo e do gás natural. Nessa indústria 2.0, surgem motores a combustão, carros, aviões, novos metais e a produção de energia elétrica em larga escala. Isto possibilitou grandes avanços nas telecomunicações e no transporte. Uma das marcas desse período da indústria foi o surgimento da linha de montagem na indústria automobilística iniciada pela *Oldsmobile* e, posteriormente pela *Ford*. Essa produção em massa gerou queda de preço dos automóveis que, aliada a indústria do petróleo, facilitou a difusão da nova tecnologia (ROBOTS, 2022).

A **indústria 3.0** surge a partir de 1969 com o surgimento da energia nuclear e com uso da eletrônica e dos computadores na indústria. Ela também é conhecida como

“Revolução Digital” ou “Primeira Era dos Computadores”, e começa nos anos 70, em que grandes computadores ocupavam salas inteiras para realizar tarefas relativamente simples [...] O PLC (Controlador Lógico Programável) foi inventado nos anos 60 e foi um dos marcos tecnológicos da indústria 3.0. Outras máquinas eletrônicas inventadas nesse período incluem **chips de Circuitos Integrados, sistemas digitais lógicos, computadores, telefones digitais, microprocessadores** e muito mais.

A indústria 3.0 pega o mundo analógico existente até aquele momento, depois de milhares de anos de desenvolvimento humano, e o converte em digital (ROBOTS, 2022).

Este período marcou o início da automação industrial como conhecemos hoje e o início da implementação da robótica na indústria. O primeiro robô industrial do mundo

foi instalado pela primeira vez na fábrica da indústria automobilística da *General Motors*, na década de 60.

A **quarta revolução industrial** iniciada nos anos 2000 surge com a conectividade promovida pela internet e com as preocupações com novas fontes de energia e, posteriormente, com a implementação da inteligência artificial. Busca integração da internet nas tecnologias industriais e domésticas. Também, busca uma análise integral do processo industrial para seu contínuo aprimoramento em uma ampla gama de aspectos, não só os relativos à produtividade e redução de custo, mas também com preocupação ambiental, saúde, segurança e meio ambiente. Ela enfatiza a

interconectividade através de conexão de alta velocidade, Inteligência Artificial, machine learning, automação, análise de Big Data, computação em nuvem e a evolução da robótica industrial para um novo patamar (ROBOTS, 2022).

A digitalização mais expressiva da indústria, possibilita o envio de informações em grande escala, facilitando a interconectividade, o que permite que os processos possam ser monitorados e controlados à distância.

A preocupação com a manutenção e cuidado dos componentes industriais trazem para a indústria 4.0 uma nova filosofia, tanto na operação quanto na manutenção. Esta última deixa de ser corretiva² ou preventiva³ e passa a ser preditiva⁴ e prescritiva⁵.

O uso de robôs para realização de tarefas inóspitas, cansativas ou degradantes vem sendo ampliado e tem ganhado incremento tecnológico e de conectividade. Além do surgimento dos robôs colaborativos que ao invés de substituírem a mão de obra humana, atuam em colaboração. Estes dispositivos permitem o trabalho conjunto da mão de obra robótica e da mão de obra humana. “Com a união dos humanos e robôs em uma configuração inteligente, os *cobots* ficam com a parte braçal, repetitiva e perigosa da produção enquanto os humanos lidam com tarefas de maior valor agregado na linha” (ROBOTS, 2022).

Este processo de evolução industrial sofreu influência da evolução dos computadores e da linguagem de programação. Os primeiros computadores (início do século XX) eram

² Método em que se atua após a falha da máquina.

³ Método em que as peças são substituídas em tempo determinado, presumidamente antes da possibilidade de ocorrência da falha.

⁴ Método em que a condição dos equipamentos é monitorada e a manutenção é programada conforme as alterações do funcionamento são observadas.

⁵ Método interconectado em que o monitoramento do equipamento gera alarmes ao responsável alertando sobre alterações de funcionamento e erros de operação.

eletromecânicos e funcionavam a partir das acionamento de relés, estes eram programados manualmente um a um, por meio da arquitetura de *Von Neumann* onde a interface com a máquina era pouco intuitiva e demandava o domínio da linguagem binária, sob a qual as máquinas operam até hoje. Na década de 1950 surge, junto com as máquinas *CNC* (Veja sobre estas máquinas em 3.2.2), a linguagem *g-code* para controle destas máquinas. Inicialmente o código escrito nessa linguagem era gerado em placas perfuradas para serem inseridas nas máquinas, que por sua vez liam o código e executavam os comandos. Essa linguagem ainda é utilizada no controle de máquinas *CNC* modernas, mas hoje os códigos numéricos são escritos com auxílio de computador e descarregados nas máquinas ou inseridos manualmente nos *display* de controle das mesmas. A linguagem utiliza códigos específicos e parâmetros programáveis para cada comando. Veja um exemplo de código gerado, para a usinagem em *CNC* de uma peça, com a linguagem *g-code* no Anexo B.

A partir da difusão e modernização dos computadores surgiram novas linguagem mais intuitivas e mais relacionadas com a linguagem usual, tradicionalmente no idioma inglês. As linguagens utilizadas para programação se dividem em linguagens de baixo nível, mais próximas da linguagem binária de máquina, utilizadas em programação de máquinas ou como interface entre as programações de nível superior e as máquinas. E linguagem de alto nível, mais intuitivas e mais próximas da linguagem usual. Entre as linguagens de baixo nível, podemos citar o exemplo da linguagem *Assembly* que é utilizada na programação de microprocessadores de computador.

Já a linguagem de alto nível utiliza códigos mais intuitivos para denominar as funções realizadas, ainda que submetidos a um conjunto de regras lógicas, os códigos estão mais distantes da linguagem binária de máquina e mais próximos da linguagem convencional. Como exemplo podemos citar as linguagens *SQL* e *JAVA*; a primeira é utilizada para criação e manipulação de bancos de dados e a segunda é utilizada para criação de *softwares*. Desta forma,

As linguagens de baixo nível possibilitam uma comunicação em termos de máquina. É uma forma pouco convencional e de grande dificuldade para a maioria das pessoas. [...] A linguagem assembly [...] é mais fácil de usar do que uma linguagem de máquina, por ser baseada em comandos de instruções em formato mnemônico (siglas com significado definido de suas ações). As linguagens de alto nível possibilitam maior facilidade de comunicação com um computador, pelo fato de serem próximas à comunicação humana, pois se baseiam em palavras do idioma inglês. [...] Esse tipo de linguagem é mais facilmente assimilado por seres humanos. [...] Tanto as linguagens de programação em baixo nível como em alto nível, quando em uso em um computador eletrônico, são traduzidas internamente para uma forma numérica convencional grafada em formato

binário [...], pois todo computador só é operado internamente com códigos binários (MANZANO; OLIVEIRA, 2018, p.35).

3.2 Automação de processos

Desde a pré-história são desenvolvidos mecanismos com o propósito de facilitar a produção humana, os moinhos de vento, rodas d'água e a própria roda são exemplos destes mecanismos. Desde então a mecanização de processos, que consiste na substituição do trabalho manual por uma máquina, vem sendo observada na história da humanidade. Tendo sido mais evidenciada a partir do advento da máquina a vapor e da revolução industrial.

A automação de processos é um conceito diferente do conceito de mecanização, na automação, além de existirem máquinas que substituem o trabalho manual, elas são controladas automaticamente. Podemos entender um controle automático como “aquele em que o próprio dispositivo é capaz de perceber mudanças que afetam o sistema, decidir sobre a necessidade de realizar alguma ação corretiva e atuar sobre o sistema, sem intervenção humana” (CAMARGO, 2013, p.21).

Como exemplo de um processo automatizado Camargo (2013) menciona os aparelhos de micro-ondas, que são ligados com um tempo programado e desligam após decorrido o tempo previsto sem a necessidade de intervenção humana. Ou uma geladeira que liga quando a temperatura atinge um valor máximo especificado e desliga quando atinge um valor mínimo especificado, para manter o seu interior em uma faixa de temperatura predefinida.

“Um dos primeiros dispositivos automáticos da humanidade foi o relógio d'água, desenvolvido em meados do século II a.C., facilitando a medição do tempo” (LIMA, 2003). Outro exemplo é uma máquina utilizada pelos gregos para prever eventos astronômicos, descoberta em 1900, cujos resquícios forma encontrados recentemente, ilustrados pela Figura 1.



Figura 1 – **Artefato Arqueológico: Computador Mecânico da Grécia Antiga**
Fonte: (G1.GLOBO.COM, 2016)

“O primeiro controlador automático com realimentação⁶ usado em um processo industrial é geralmente aceito como o regulador de esferas de James Watt, desenvolvido em 1769 para controlar a velocidade de um motor a vapor” (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.16), Ilustrado na Figura 2.

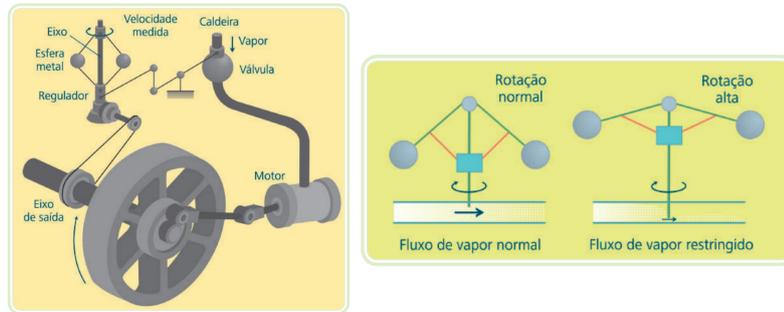


Figura 2 – **Regulador de Esferas de James Watt**

Fonte: (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.16 - 17)

O instrumento dispunha de esferas penduradas por um eixo que giravam em conjunto com o motor a vapor. O movimento era transmitido do motor ao eixo através de um conjunto de polias correias e engrenagens. O instrumento utilizava a força centrífuga gerada pelo giro das esferas ao redor do eixo, que elevava ou abaixava o regulador conforme a velocidade de rotação do eixo. O regulador aumentava ou diminuía a abertura da válvula de vapor conforme sua altura no instrumento. Dessa forma o aumento na velocidade do motor provocava a elevação do regulador e a diminuição na abertura do fluxo de vapor e consequentemente a redução na velocidade do motor. Uma diminuição da velocidade, ocasionava diminuição da força centrífuga nas esferas, abaixando o regulador, o que provoca o aumento da abertura da válvula de controle do fluxo de vapor, aumentando a velocidade do motor, assim a velocidade do motor era controlada sem a intervenção humana.

Mas os avanços mais significativos na automação da indústria vieram com o avanço da microeletrônica, da computação e com o uso da linguagem binária e da Lógica *Booleana*. (Veja o conceito de porta lógica aplicado em módulos lógicos eletrônicos em 4.3.2).

Soares (1988), destaca quatro avanços da automação possibilitados pela microeletrônica: “os robôs, as máquinas-ferramenta com controle numérico (MFCN), os microcomputadores e os equipamentos CAD-CAM (CAD-Computer Aided Design e CAM-Computer Aided Manufacturing).”⁷

⁶ O termo realimentação se refere a capacidade do sistema de ser realimentado com nova informação sobre o estado do processo a cada mudança ocorrida. Especificamente neste caso, a informação realimentada no sistema vem da força centrífuga imprimida nas esferas pela rotação do eixo. (Nota Nossa)

⁷ Tradução nossa: CAD-Desenho auxiliado por computador e CAM-Manufatura auxiliada por computador

3.2.1 Robôs

Os **robôs**, que conseguem realizar atividades além da capacidade física do ser humano, conseguem entregar processos mais precisos e produtos de maior qualidade. “Além disso, a automação também permite o aparecimento de novos produtos, como por exemplo, as centrais nucleares, pois ninguém poderia controlar a temperatura tão sensível, dentro da parte central de um reator” (SOARES, 1988).

A história da robótica moderna está estreitamente ligada à indústria automobilística, o primeiro robô utilizado foi um braço robótico (Figura 3), o **Unimate**. “Patenteado em 1961 e instalado pela primeira vez na linha de montagem da General Motors em 1962, o Unimate foi o precursor dos modernos robôs de fabricação” (ROBOTS, 2023).

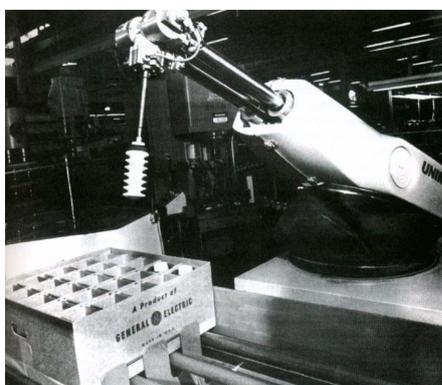


Figura 3 – Robô **Unimate**

Fonte: <<https://br.pinterest.com/pin/199706564709621444/>> Acesso em: 20 fev. 2024

A adoção do **Unimate** trouxe benefícios à indústria, a partir daí outras empresas “começaram a integrar robôs para aumentar a eficiência, precisão e reduzir custos” (ROBOTS, 2023), a partir das décadas de 70 e 80.

De lá para cá, a evolução da computação e a microeletrônica associadas a robótica tem permitido avanços também em outras áreas, como na medicina por exemplo: “São animadores os avanços em estudos com nanorrobôs, tão pequenos que são capazes de transitar pelos vasos sanguíneos” (G1.GLOBO.COM, 2019). Estes nanorrobôs podem, no futuro, monitorar a saúde dos pacientes com mais precisão, levar medicamentos diretamente no órgão ou tecido onde o remédio é necessário, substituir tecidos e órgãos, entre outras coisas.

Outros avanços na robótica têm sido possibilitados pelo uso de inteligência artificial. O robô **EVE** (Figura 4) por exemplo, é utilizado como segurança. Este robô,

desenvolvido pela empresa **1X**, é o primeiro robô humanoide – isto é, que simula aparência humana - a ter um emprego. O robô, que utiliza **inteligência artificial (IA)**, trabalha como segurança em dois locais industriais na Europa e na América do Norte, informou a empresa (ÉPOCA, 2023).



Figura 4 – Robô *EVE*
Fonte: (ÉPOCA, 2023)

3.2.2 *MFCN*

As **Máquinas-Ferramenta com Controle Numérico (*MFCN*)**, que aumentam a produtividade, permitem a fabricação de produtos mais complexos e em série de forma automatizada. Sem estas máquinas é necessária uma habilidade excepcional do operador na fabricação de certas peças por usinagem⁸. Um termo mais atual é Máquina com Comando Numérico Computadorizado (*CNC*), estas são máquinas nas quais o operador insere um código numérico em um painel e o código dá as diretrizes para a atuação da máquina. Pense em um torno⁹ convencional ou uma fresadora¹⁰ convencional, nestas máquinas o operador controla manualmente os mecanismos que determinam as velocidades e a profundidade de corte da peça. Já em uma *CNC* para a mesma função o corte é controlado por um código numérico inserido na máquina, o que proporciona mais segurança e precisão no processo. Geralmente a linguagem de programação utilizada é a linguagem *g-code*.

⁸ Usinagem é o processo de fabricação industrial que se dá pela retirada de material. Por exemplo, um perfil cilíndrico pode ser usinado de modo a ser obtida uma roda dentada de engrenagem como produto. Certas peças com características especiais, como superfícies curvas, demandam excepcional habilidade do executante da peça com processos convencionais como o torno mecânico por exemplo.

⁹ Máquina de usinagem na qual a peça gira contra a ferramenta de corte, que fica parada.

¹⁰ Máquina de usinagem na qual a ferramenta de corte gira sobre a peça, que fica parada.

A programação da primeira máquina *CNC* (Figura 5), creditada a James Parsons em 1949, era feita com uso cartões perfurados.

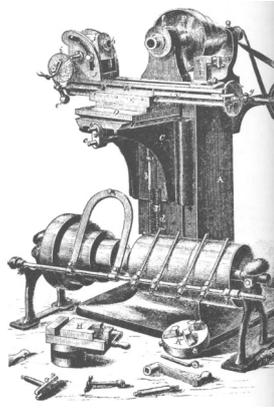


Figura 5 – **Primeira Máquina *CNC***

Fonte: <<https://www.rapiddirect.com/pt/blog/cnc-history/>> Acesso em: 20 fev. 2024

No passado, estas máquinas *CNC* eram controladas por painéis eletromecânicos de grande porte (Figura 6). A evolução da eletrônica e dos computadores permitiu que elas se tornassem mais compactas, eficientes e seguras. A Figura 7 mostra uma fresadora *CNC* de cinco eixos moderna, esta máquina consegue realizar cinco movimentos simultâneos durante a operação de corte, que ocorre em um compartimento fechado seguindo padrões definidos em normas técnicas, como a NR-12 (SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS), dando mais segurança ao operador.

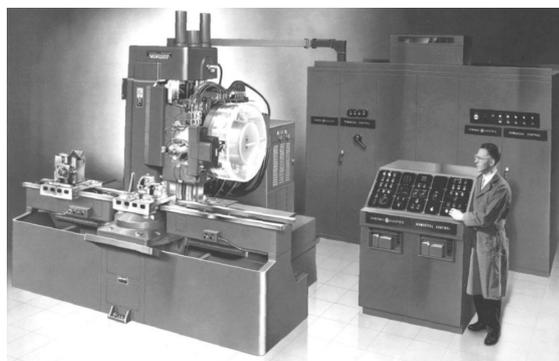


Figura 6 – ***CNC* controlada por painel eletromecânico**

Fonte: <<https://www.pinterest.jp/pin/43206477650859331/>> Acesso em: 20 fev. 2024

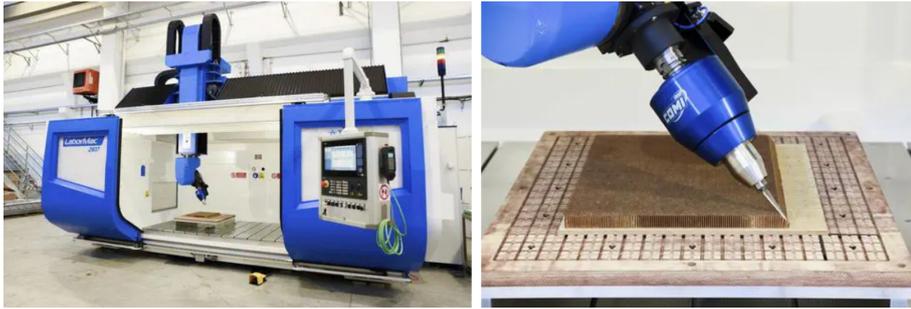


Figura 7 – **CNC moderna**

Fonte: < [https : //www.directindustry.es/prod/comi – group/product – 50365 – 1833052.html](https://www.directindustry.es/prod/comi-group/product-50365-1833052.html) > Acesso em: 20 fev. 2024

3.2.3 Microcomputadores

Sobre os **microcomputadores** Soares (1988) destacava:

Os computadores, seus terminais, bem como os microcomputadores viabilizam, basicamente, a automação dos escritórios, também conhecida como burótica, através dos processadores de texto, planilhas eletrônicas, sintetizadores de voz, a automação bancária e do comércio, através da simplificação de operações rotineiras e padronizadas (SOARES, 1988).

No decorrer dos últimos 36 anos as aplicações dessa ferramenta foram ampliadas na indústria, de modo que é possível controlar robôs, processos por *MFNC*, processos de instrumentação e de manutenção prescritiva¹¹ por meio, não só de computadores, mas também de *tablets* e *smartphones*.

3.2.4 CAD-CAM

Os **equipamentos CAD-CAM**, são máquinas que permitem a concepção e a manufatura de produtos de engenharia e arquitetura por meio de programas de computador. Com este método um produto pode ser concebido, desenhado e ter suas características e suas condições de uso simuladas em computador antes de sua construção. O *Autocad*¹² e o *Revit*¹³ são exemplos de programas de computador *CAD* e *CAD-CAM*. O primeiro auxilia na concepção e representação 2D e 3D de projetos (Figura 9), sendo usado desde

¹¹ Metodologia de manutenção que utiliza os dados obtidos da instrumentação, tais como vibração e temperatura dos equipamentos para orientar correções metodológicas aos operadores do processo, alertar o setor de manutenção sobre a condição dos equipamentos ou parar o processo para evitar danos decorrentes de possíveis falhas do equipamento.

¹² Programa *CAD* da *Autodesk* voltado para o desenho 2D e modelagem 3D de projetos de engenharia, arquitetura e agronomia.

¹³ Programa *CAD-CAM* da *Autodesk* voltado para a modelagem 3D de projetos de arquitetura e engenharia civil

dezembro de 1982, quando foi lançado apenas com versão para representação 2D (Figura 8). Enquanto o segundo, o *Revit* (Figura 10), lançado em 2000 permite além da concepção e representação de projetos, a realização de simulações, geração de gráficos, tabelas e listas de materiais de construção entre outros, na sua versão atual.



Figura 8 – Imagem da tela de uma versão antiga do *Autocad*

Fonte: <<https://mfjacob.blogspot.com/2008/09/um-pouco-de-histria-do-autocad-dos.html>> Acesso em: 20 fev. 2024

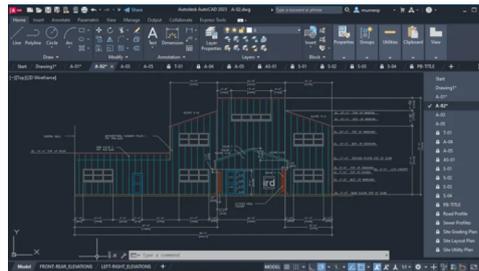


Figura 9 – Imagem da tela do *Autocad 2024*

Fonte: <<https://www.mustafadeliceoglu.com/2022/09/lisanssiz-autocad-kullanmak/>> Acesso em: 20 fev. 2024

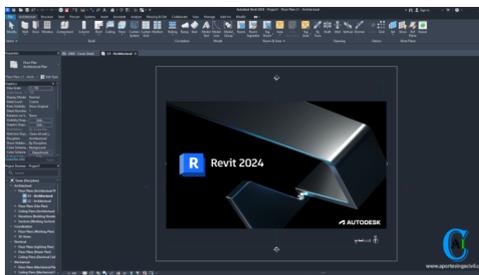


Figura 10 – Imagem da tela do *Revit 2024*

Fonte: <<https://aportesingecivil.com/autodesk-revit-2024-multilenguaje/>> Acesso em: 20 fev. 2024

As ferramentas CAD podem ser utilizadas para “elaboração do projeto e sua modelação geométrica, análise de engenharia, desenho e cinemática” (SOARES, 1988).

Enquanto as ferramentas CAM podem, entre outras aplicações, ser utilizadas para o “projeto de ferramentas, o controle das máquinas, o planejamento de processos e de materiais, robótica e a administração da unidade fabril” (SOARES, 1988).

Como funções do CAD temos: elaboração do projeto e sua modelação geométrica, análise de engenharia, desenho e cinemática. E como funções do CAM, podemos citar: projeto de ferramentas, o controle das máquinas, o planejamento de processos e de materiais, robótica e a administração da unidade fabril (SOARES, 1988).

Em máquinas como tornos *CNC* e fresadoras *CNC*, por exemplo, podem ser descarregados códigos gerados por programas de desenho *CAD-CAM*, como as versões atuais dos programas SolidWorks¹⁴ lançado em 1995 e o Inventor¹⁵ lançado em 1999, diminuindo a necessidade de impressão e leitura de projetos e de o operador escrever o código numérico diretamente na máquina, uma vez que estes programas são capazes de gerar um código de programação referente a peça desenhada, para programar a máquina que irá fabricá-la. Assim, os recursos disponibilizados pelas ferramentas *CAD-CAM* possibilitaram “o desenvolvimento do ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing), cujo objetivo último é a aplicação de um sistema de fabricação integrado numa unidade produtiva completamente automatizada” (SOARES, 1988).

As ferramentas de desenho, além de permitirem a elaboração de projetos para orientação da execução de peças inéditas, permitem que uma peça existente seja desenhada para fins de análise, reprodução, ou engenharia reversa. Para isso é necessário que seja feito o levantamento das informações da peça, como formato e dimensões e o desenho da peça com as ferramentas *CAD* ou *CAD-CAM*. Neste sentido outro dispositivo que tem sido utilizado é o escâner 3D. Com ele é feito um levantamento de alta precisão da forma e das dimensões da peça, por meio da leitura realizada por um escâner óptico, sem a necessidade de medições ou elaboração de desenhos. Em seguida o *software* do escâner, instalado em um computador adequado, realiza a construção do modelo eletrônico tridimensional. O dispositivo desse tipo utilizado no *SENAI-CIMATEC* possui uma margem de erro de três centésimos de milímetro, precisão superior à de muitos paquímetros¹⁶.

¹⁴ Programa de computador *CAD-CAM* da empresa *Dassault Systèmes* voltado para o desenho 3D e fabricação de componentes mecânicos.

¹⁵ Programa de computador *CAD-CAM* da empresa *Autodesk* voltado para o desenho 3D e fabricação de componentes mecânicos.

¹⁶ Instrumento de medição de comprimento, com precisão na casa dos centésimos de milímetro.

3.2.5 Onde está a automação?

Camargo (2013) divide a presença da automação em três locais: Automação **residencial**, presente nas residências com o objetivo de oferecer mais facilidade e segurança, por meio de portões eletrônicos, sistemas de monitoramento, acendimento automático de luzes, controle de temperatura, entre outros. Automação **comercial**, verificada no controle de estoque, controle de frequência, controle do faturamento, entre outros aspectos. E a automação **industrial** que surge da busca pela produtividade, produção em larga escala, padronização da produção, disponibilidade do processo e segurança para as pessoas e para o processo. Lima (2003) destaca a qualidade, a flexibilidade, a produtividade e a viabilidade técnica e econômica como os principais objetivos da automação industrial.

Roggia e Fuentes (2016) Divide a automação industrial em três tipos:

- **Automação rígida:** voltada para a produção em série de um produto específico, apresenta alta taxa de produção e baixa taxa de flexibilidade e adaptabilidade a outros tipos de produtos. Podemos citar como exemplo uma linha de produção onde uma prensa estampa o formato da porta de um carro em uma placa metálica. Qualquer alteração de modelo de porta ou de produto demanda uma modificação complexa no equipamento de produção.
- **Automação programável:** “o equipamento de produção é projetado com a capacidade de modificar a sequência de operações de modo a acomodar diferentes configurações de produtos” (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.19). Um exemplo desse tipo de automação é o uso do Controlador Lógico Programável (*CLP*) para controle de um equipamento industrial. Em caso de mudanças de processo basta reprogramar o *CLP* conforme a nova necessidade.
- **Automação flexível:** reúne aspectos das duas anteriores, apresentando certa flexibilidade e adaptabilidade a produtos diferentes, mas com variedade de possibilidades mais limitada do que os sistemas de automação programável.

Camargo (2013) acrescenta a **automação integrada** que utiliza o **CAD**, o **CAM** e o Planejamento e Controle da Produção (**PCP**), por exemplo, para integrar diferentes áreas de uma fábrica sob o controle de um sistema de informação.

A instrumentação industrial é uma parte fundamental da automação industrial. A instrumentação é a área da indústria responsável pelos instrumentos de medição e

controle dos processos. Um processo industrial envolve a passagem de uma matéria prima por diversas modificações até que se obtenha o produto final desejado. Durante estas modificações, diversas grandezas físicas dos materiais, tais como pressão, temperatura, vazão, entre outras, precisam ser monitoradas e controladas afim de se manter as propriedades esperadas dos produtos, a segurança do processo e as condições de operação das máquinas industriais. Estas grandezas são chamadas de variáveis do processo. Os instrumentos industriais são responsáveis pela obtenção de dados relativos à variáveis e controle das mesmas. Termômetros, medidores de vibração, válvulas de controle e alarmes são exemplos destes instrumentos.

Os sistemas assistidos pela instrumentação podem ser de dois tipos: de **malha aberta** ou de **malha fechada**.

Os sistemas de **malha aberta** são aqueles em que os instrumentos apenas informam as condições do material e das máquinas, mas não emite nenhum sinal que altere a condição monitorada. Por exemplo, um medidor de nível em um tanque, indica o nível do tanque ao operador mas, por si só, ele não realiza alterações no nível do tanque. É um sistema de monitoramento das variáveis do sistema.

Já em um sistema de **malha fechada** o medidor enviaria um sinal para um controlador, que pode ser uma válvula de controle automática por exemplo, que atuaria conforme o valor obtido para o nível do tanque. Um exemplo de um sistema em malha fechada é o caso em que é estabelecido um nível mínimo e um nível máximo para o volume do tanque e assim que o sensor¹⁷ registra um destes níveis, um transdutor¹⁸ envia um sinal para o controlador da válvula orientando sua abertura ou fechamento. Suponha que a válvula esteja à montante¹⁹ do tanque, assim que o instrumento de medição de nível verificar nível mínimo, o controlador abre a válvula para preenchimento do tanque. E assim que o nível máximo for verificado a válvula é fechada, cessando o abastecimento do tanque. Já em uma situação em que a válvula controlada pela malha está à jusante²⁰ do tanque, ela seria aberta pelo controlador quando o nível registrado fosse máximo e fechada quando o nível registrado fosse mínimo. Nestes sistemas de **malha fechada** há uma realimentação

¹⁷ sensor é um dispositivo sensível a um fenômeno, podendo, por exemplo, emitir um tipo de energia quando exposto a este fenômeno. O mercúrio por exemplo é sensível à variações de temperatura, aumentando seu volume, logo pode ser utilizado em termômetros.

¹⁸ transdutor é o instrumento que recebe um tipo de energia, e emite outro tipo de energia. Ele permite, por exemplo, que um sinal obtido por um sensor seja transformado em outro sinal que possa ser enviado, registrado ou interpretado por um operador.

¹⁹ Quando um instrumento está posicionado antes de um equipamento em relação ao fluxo do produto dizemos que ele está à montante

²⁰ Quando um instrumento está posicionado após um equipamento em relação ao fluxo do produto dizemos que ele está à jusante

do sistema com o dado obtido a partir da medição, logo, além do monitoramento do sistema há o seu controle automático. Em sistemas controlados eletronicamente ou por computador os sinais obtidos pelos instrumentos são enviados no formato digital²¹ para o controlador, nos casos em que o sinal obtido é analógico²² ele é convertido para digital.

Toda esse fluxo de informação obedece a uma sintaxe lógica com base em premissas e conclusões que norteiam a atuação dos dispositivos automáticos.

Além dos dispositivos de medição e controle dos processos industriais, a automação conta com diversos outros mecanismos para realização destes processos. Entre eles temos: os motores elétricos, que usam o eletromagnetismo para produzir movimento de rotação a partir de bobinas e ímãs, estes motores são fundamentais nos processos que requerem rotação de peças (como é o caso das máquinas *CNC*), transporte de materiais em esteiras, agitação de fluidos em ventiladores ou reatores industriais²³ e no acionamento de bombas²⁴ e compressores²⁵; os servomotores, motores acoplados a caixa de engrenagens que lhes permitem alta precisão no giro, característica necessária em articulações de robôs, por exemplo; e os sistemas pneumáticos e hidráulicos, este último, é utilizado para deslocamentos de grandes massas a baixas velocidades, como em guindastes por exemplo, Veja um pouco mais sobre pneumática e hidráulica no Apêndice F, Seção F.1. Veremos a seguir, um pouco a respeito dos sistemas eletromecânicos, estes são sistemas que integram componentes elétricos e componentes mecânicos para realização de suas funções, como é o caso do contator eletromecânico e do relé, nos quais a atuação de partes mecânicas ocorre a partir da eletrização de uma bobina.

3.3 Relés e Contatores Eletromecânicos

O relé é um possível recurso para a automatização de um processo. Pense no simples exemplo de um limpador de para-brisas de um carro. O seu movimento é convencionalmente controlado por relés específicos, por isso, basta um único clique na alavanca do limpador para que o sistema seja acionado, execute um ciclo completo, volte a posição original e pare automaticamente na posição correta na parte inferior do para-brisas. Se este processo

²¹ Sinal que só admite duas situações extremas e antagônicas, alto ou baixo, sim ou não, verdadeiro ou falso, zero ou um, por exemplo, estes sinais podem ser interpretados e manipulados por equipamentos que utilizam a Lógica *Booleana*

²² Sinal que admite uma diversidade de valores entre os extremos, comumente interpretado como uma senoide.

²³ reatores industriais são tanques para mistura de produtos

²⁴ Equipamentos industriais utilizados para promover a movimentação de fluidos, em estado líquido, de um ponto a outro em tubulações ou a sua pressurização.

²⁵ Equipamentos industriais utilizados para promover a pressurização de fluidos no estado gasoso.

fosse feito sem automação, o motorista teria que ficar atento para desligar o limpador em um momento preciso, correndo o risco de o limpador ficar em uma posição errada, no meio do para-brisas, ao ser desligado.

O princípio do funcionamento do relé, assim como do contator eletromecânico está estreitamente ligado ao estudo do eletromagnetismo. O conhecimento do fenômeno magnético é bem antigo, desde a construção da bússola pelos chineses que, “ao descobrirem que um objeto que fosse magnetizado e apoiado em um suporte de modo a se mover livremente, se orientava de tal maneira a apontar para o norte” (BRAGA, 2012, p.9).

Com relação ao conhecimento sobre eletricidade, os registros são mais recentes. Em 1780 Luigi Galvani descobriu a “eletricidade animal” enquanto dissecava rãs e em 1800 Alessandro Volta inventa a primeira pilha, muitos cientistas desenvolveram os estudos sobre eletricidade desde então, separando inicialmente o que era eletricidade estática, chamada de galvanismo, do que era corrente elétrica, como ocorria com a pilha.

Somente a partir de 1820 é que foi percebida a inter-relação entre os conceitos de magnetismo e eletricidade, quando Hans Christian Oersted (1777-1851) percebeu que uma bússola se direcionava perpendicularmente a um fio condutor eletrizado. Durante uma experiência envolvendo corrente elétrica em 1820, Oersted “observou que sempre que se fechava o circuito, a agulha de uma bússola que estava nas proximidades se movia” (BRAGA, 2012, p.10).

A partir de então grandes nomes da ciência deram suas contribuições para o desenvolvimento do conhecimento sobre o eletromagnetismo. Entre os quais, estava Michael Faraday (1791-1867) que descobriu a indução magnética em 1831. Já o relé, criado por William Fothergill Cooke (1802-1879), Charles Wheatstone (1802-1875) e Edward Davy (1806-1885), surge apenas em 1937, como um aparelho que era capaz de acionar um alarme a partir do controle da tensão elétrica de uma bateria. Neste ano outros aparelhos eletromagnéticos foram registrados, entre eles o motor elétrico inventado por Thomas Davenport (1802-1851) e no ano seguinte seria registrado o Telegrafo. Contudo, a partir do trabalho de James Clerk Maxwell (1831-1879), que unificava a campo elétrico e o campo magnético é que o avanço das aplicações do eletromagnetismo pode ocorrer de maneira mais rápida. Os relés fizeram parte das grandes invenções desde então, a exemplo do telefone de Alexander Graham Bell (1847-1922), criado em 1876, que só deixou de utilizar relés quando substituídos pelos sistemas eletrônicos atuais (BRAGA, 2012).

Em 1937 George Stibitz (1904-1995) percebeu que os relés poderiam realizar

operações em sequência, portanto poderiam ser utilizados para a realização de cálculos matemáticos. “Destá forma, usando relés, lâmpadas de lanterna e uma chave feita com uma caixa de metal de charutos, ele montou o primeiro computador com relés: um somador binário” (BRAGA, 2012, p.14).



Figura 11 – **Réplica do Somador Binário de Stibitz**

Fonte: <<https://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/85/346?position=0>> Acesso em: 21 jan. 2024

Já em 1939 o Complex Number Calculator, uma máquina com 460 relés, se tornou o primeiro computador digital elétrico do mundo. No mesmo período eram desenvolvidos computadores por meio de relés, também no Japão e na Alemanha. Mas estes computadores ainda não eram programáveis, eram uma combinação de relés que realizavam uma sequência contínua de operações pré-estabelecidas. A respeito do Complex Number Calculator, “Ele podia encontrar o quociente de dois números de 10 dígitos em “apenas” 30 segundos. A entrada do computador era feita por três tele-máquinas de escrever” (BRAGA, 2012, p.14).

Com a Guerra, os projetos de Stibitz passaram a se voltar para fins militares, como realizar multiplicações e computar tabelas de direcionamento de fogo antiaéreo. Neste período ocorreram grandes avanços, como o surgimento do conceito de “processamento paralelo” uma vez que, duas unidades realizavam operações simultâneas para o processamento, “também surgia um conceito de “sistema operacional”, pois havia uma unidade que controlava as unidades aritméticas, memória e operações de entrada e saída” (BRAGA, 2012, p.16). Para isso os maiores computadores da época chegavam a conter perto de de 9 mil relés e pesar cerca de 10 toneladas.

A partir daí surgiram avanços na linguagem de programação como a “notação bi-quinária”²⁶ e posteriormente, devido às vulnerabilidades dos relés “sugiram os computadores eletrônicos, em que inicialmente as válvulas substituíram os relés, depois os

²⁶ Consulte Braga (2012, p.16) para mais sobre esta notação.

transistores substituíram as válvulas e, posteriormente, os Circuitos Integrados substituíram os transistores (BRAGA, 2012, p.16).

O uso dos relés se seguiu em várias outras aplicações, na indústria automobilística, eletrodoméstica e nos processos de controle industrial se adaptando à evolução tecnológica. Nas figuras 12 e 13 podemos ver a diferença entre um relé da década de 60 e um contator industrial utilizado atualmente. Ambos, relés e contatores, antigos ou novos, funcionam pelo mesmo princípio (eletromagnético), diferenciando-se por algumas particularidades dos mecanismos e aplicações.

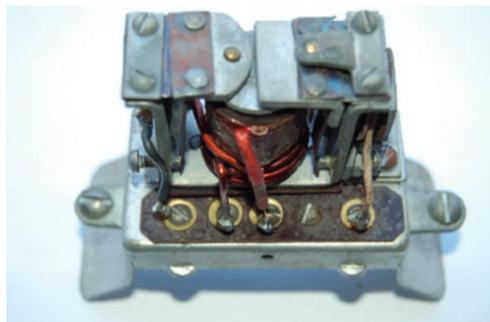


Figura 12 – Relé antigo da Metaltex

Fonte: (BRAGA, 2012, p.17)



Figura 13 – Contator moderno da WEG

Fonte: <<https://csaautomacao.com.br/store/contator-auxiliar-de-seguranca-cawbs-32-00d23.html>> Acesso em: 21 jan. 2023

O surgimento dos Circuitos Integrados e dos dispositivos eletrônicos e computacionais modernos apresentaram um grande avanço na automação, mas em muitos casos os relés e os contatores continuam sendo usados em sistemas de segurança e no acionamento direto de máquinas, assim continuam realizando tarefas simples que fazem grande diferença para o ser humano. Ambos os exemplos das figuras 12 e 13 podem, por exemplo, realizar o

acionamento à distância de equipamentos industriais expostos a altas tensões e correntes elétricas, oferecendo maior segurança ao operador ao substituir sistemas de acionamento manual rudimentares com os das figuras 14 e 15. Além disso, ilustram de maneira concreta e simplificada o mecanismo pelo qual se dá a linguagem de máquina.



Figura 14 – **Chave de Acionamento Elétrico Manual Antiga**

Fonte: <<https://www.lilileiloeira.com.br/peca.asp?ID=5992309>> Acesso em: 18 jul. 2023



Figura 15 – **Chave de Acionamento Elétrico Manual Antiga**

Fonte: <<https://www.lilileiloeira.com.br/peca.asp?ID=5992309>> Acesso em: 18 jul. 2023

A indústria moderna passou a contar com muitos outros recursos eletrônicos, inclusive os relés de estado sólido. “Um relé de estado sólido ou Solid State Relay (SSR) nada mais é do que um acoplador óptico que tem um LED emissor e um receptor. O receptor pode ser um foto-diodo, foto-transistor, foto-triac ou outro dispositivo sensível à luz” (BRAGA, 2012, p.18). Este modelo de relé utiliza-se de dispositivos fotossensíveis que mudam seu estado de condutibilidade elétrica conforme sua exposição à luz. De forma que a ativação de um diodo emissor de luz (LED) sensibiliza um receptor, que por sua vez alterna de não condutor elétrico para condutor elétrico ou vice-versa, realizando o papel

de um interruptor elétrico, análogo ao efeito de comutação de contatos verificado nos relés eletromecânicos.

No Apêndice F Seção F.2, traremos alguns detalhes do funcionamento dos relés eletromecânicos e dos contatores eletromecânicos. E na Seção F.3 do mesmo apêndice, mostraremos uma evolução do controle industrial possibilitado pela microeletrônica e pela programação.

3.4 Alguns Simuladores

Os sistemas eletromecânicos, hidráulicos e pneumáticos podem ser representados por meio de diagramas para que possam ser interpretados ou executados. O desenho dos circuitos pode ser feito a não ou com o uso de programas de computador *CAD* ou *CAD-CAM*. Existem muitos programas que permitem, a representação e a simulação do funcionamento destes sistemas. Alguns como o *PhET Colorado* e o *Tinkercad* são mais voltados para finalidade didática, outros como o *CADeSIMU* e o *FluidSIM* podem ser utilizados também para a elaboração de projetos para a prática industrial além de sua finalidade didática. Este último pode ainda ser utilizado para estudos de circuitos hidráulicos e pneumáticos além dos circuitos elétricos, que são o nosso foco. A simbologia, utilizada na representação gráfica dos componentes nos diagramas, é normatizada para padronização e universalização da leitura dos projetos. No Brasil essa normatização é feita pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e a norma que padronizava a simbologia utilizada em sistemas de acionamento elétrico era a NBR - 5280, cancelada em 2011. É comum a utilização da norma alemã *DIM* (*Deutsches Institut für Normung*) para a representação de diagramas elétricos. Veja alguns destes símbolos no Anexo C. A seguir veremos alguns programas de computador e aplicativos *web* utilizados para criação e simulação de circuitos.

3.4.1 *FluidSIM*

O *FluidSIM* é um *software* muito utilizado para a elaboração e simulação de circuitos hidráulicos, pneumáticos e elétricos. É utilizado em cursos de mecatrônica, mecânica, elétrica e também na atuação profissional nestas áreas.

FluidSIM é um software abrangente para criar, simular, ensinar e aprender circuitos eletropneumáticos, eletro-hidráulicos, digitais e eletrônicos. [...] combina um editor de diagramas de circuito intuitivo com descrições detalhadas de todos os componentes, fotografias, animações de seções

transversais e sequências de vídeo. O software de simulação é ideal para a preparação da aula, uso em sala de aula e para o aprendizado independente.

FluidSIM já recebeu diversos prêmios, incluindo o Expert System Innovation Award, o Worlddidac Award e o German Education Software Award. Com mais de 300 mil instalações em todo o mundo desde 1995, o FluidSIM é um dos pacotes de software mais bem-sucedidos na formação mecatrônica (FESTO, 2024) ²⁷.

O programa dispõe de uma janela chamada de *Component Library*, que é apresentada automaticamente na abertura do programa, onde estão dispostos vários tipos de equipamentos utilizados pela indústria, representados conforme a norma alemã DIM (*Deutsches Institut für Normung*), ilustrado na Figura 16.

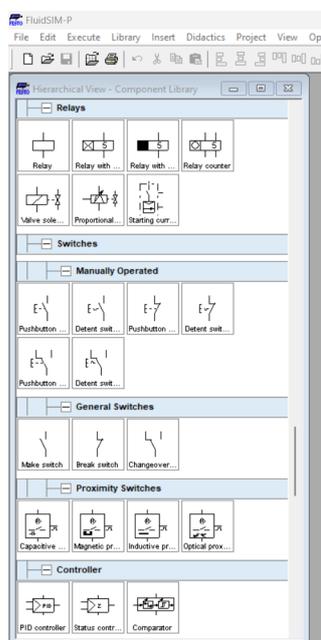


Figura 16 – *Component Library* do *FluidSIM*

Fonte: Produzida pelo autor

A barra de menus e a barra de ferramentas do programa trazem diversos recursos. A barra de ferramentas apresenta a simbologia usual para os recursos de arquivo novo, impressão, abrir arquivo, salvar arquivo, desfazer, recortar, colar, de modo a ser intuitivo para usuários familiarizados com ícones gráficos comumente utilizados em programas de computador. Além disso, a barra de ferramentas também apresenta os botões de *play*, *pause* e *stop* utilizados na realização de simulações.

²⁷ *FESTO* é uma empresa alemã que produz equipamentos de automação industrial, como válvulas, cilindros, sensores, controladores, entre outros. A empresa também oferece soluções de treinamento e educação em automação industrial, incluindo o software de simulação *FluidSIM*.

Assim que o programa se inicia, a janela *Component Library* é aberta na parte esquerda da tela com todos os componentes mecânicos, elétricos, hidráulicos, pneumáticos, eletrônicos, entre outros disponíveis pelo programa, separados por categoria. Para começar a utilizar o programa primeiro clique no ícone de arquivo novo, será aberta uma janela de trabalho à direita da *Component Library*. Em seguida escolha o componente que desejar na janela *Component Library*, ao escolher o componente clique segure e arraste para a direita, em seguida solte o componente escolhido na janela de trabalho. Repita o processo com todos os equipamentos que desejar utilizar. Cada componente pode ser reposicionado dessa mesma forma, clicando e arrastando. Caso seja necessária a mudança de orientação do componente escolhido clique em *Rotate:90°*, *Mirror:horizontally* ou *Mirror:vertically* na barra de ferramentas, conforma ilustrado na Figura 17.

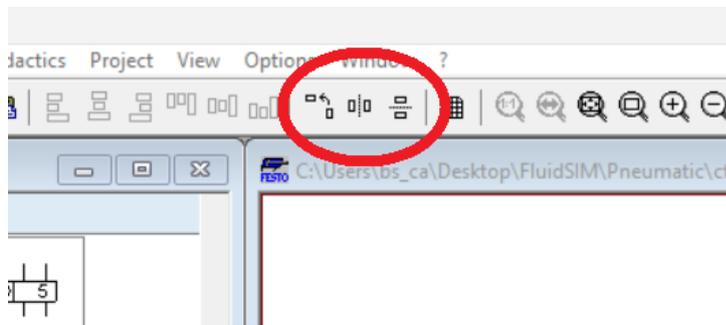


Figura 17 – Ícones de mudança de orientação

Fonte: Produzida pelo autor

Antes de estarem ligados em um circuito, os componentes dispostos na janela de trabalho apresenta pequenos círculos nas extremidades. Os circuitos no *FluidSIM* são representados por linhas ortogonais, independentemente de representarem fios elétricos ou mangueiras de ar ou outro fluido. Para criação destes circuitos entre os componentes escolhidos, basta clicar no círculo da extremidade de um componente, manter o botão do mouse pressionado, deslocar o cursor até o círculo do componente que se deseja conectar pelo circuito e soltar o botão do mouse.

O programa ainda oferece a possibilidade de simulação do circuito projetado com uso dos recursos ilustrados a Figura 18, para isso basta clicar no símbolo de *play* na barra de ferramentas, em seguida, o funcionamento de cada componente do sistema pode ser simulado com um clique do mouse sobre o componente. O botão de *pause* pode ser utilizado para parar a simulação momentaneamente, o botão de *single step* (representado por um triângulo, como no botão *play*, antecedido de uma barra vertical) pode ser usado para pular para a próxima atuação do sistema. E para finalizar a simulação e voltar para

a edição do circuito, clique no botão *stop*.



Figura 18 – Ícones de simulação

Fonte: Produzida pelo autor

O programa pode ser obtido pela internet com diversos fornecedores. O fornecedor oficial é o *site* da FESTO <<https://www.festo.com/br/pt/>> onde o programa pode ser obtido e licenciado conforme a necessidade do usuário. Ao solicitar o programa no *site* oficial, a FESTO entra em contato com o usuário para solução de dúvidas e fornecimento dos recursos.

Este programa foi utilizado na produção de vídeos de simulações de circuitos elétricos, para o produto didático oferecido. Como exemplo do tipo de simulação produzida com o auxílio do *software* temos o vídeo, produzido pelo autor, disponível no *link* <<https://youtu.be/3DzYsVHV24g>>.

3.4.2 CADeSIMU

O *Software CADeSIMU* é um programa utilizado por eletricitas e por estudantes para a elaboração de circuitos elétricos de baixa tensão²⁸. Podem ser elaborados projetos, desenhados diagramas elétricos e realizadas simulações dos circuitos, tanto com a finalidade educacional quanto para a execução dos projetos. “Não é necessário nenhum tipo de instalação, você apenas inicia com o arquivo executável [...] sem custos, um software [...] capaz de realizar simulação de circuitos de comandos elétricos” (CADESIMU, 2024).

O CADe SIMU é um software eletrotécnico que nos auxilia na criação de diagramas de comandos elétricos, através dele é possível criar quase todo

²⁸ Circuitos elétricos de baixa tensão são aqueles com potencial elétrico menor do que 1000 V (mil volts). No Brasil, a rede elétrica convencional disponibiliza três fases em corrente alternada (condutores dotados de potencial elétrico não nulo que oscila seu potencial em positivo e negativo 60 vezes por segundo) e um neutro (condutor dotado de potencial elétrico nulo). As fases podem ser ambas de 127V ou ambas de 220V a depender da localidade, em Goiás por exemplo as fases são de 220 V, já na Bahia as fases são de 127V de potencial elétrico. Em Goiás, em uma tomada residencial comum, os equipamentos elétricos ligados entre uma das fases e o neutro estão submetidos a uma tensão de 220V, na mesma situação na Bahia os equipamentos estão ligados à 127V. Equipamentos industriais podem ser ligados dessa forma ou podem ser ligado entre fases, neste último caso a tensão aumenta cerca de raiz quadrada de 3 vezes. De modo que em uma ligação entre fases em Goiás produz uma tensão de 380V e na Bahia uma tensão de 220V. Conforme conhecimento adquirido em curso técnico e experiência com a prática profissional

tipo de circuito elétrico (focado em Comandos Elétricos e também *CLP* e pneumática), desde partida direta de motores até partida de motores com auxílio de soft starter e inversores de frequência (CADESIMU, 2024).

Ao abrir o programa o usuário tem a disposição uma tela típica de programas computacionais (Figura 19), com barra de menus e barras de ferramentas na parte horizontal superior. À esquerda são disponibilizados comandos de seleção e desenho. À direita tem-se opções de mudança de cor²⁹ do circuito. A tela de trabalho apresenta margem e legenda prontas para a impressão do diagrama desenhado.

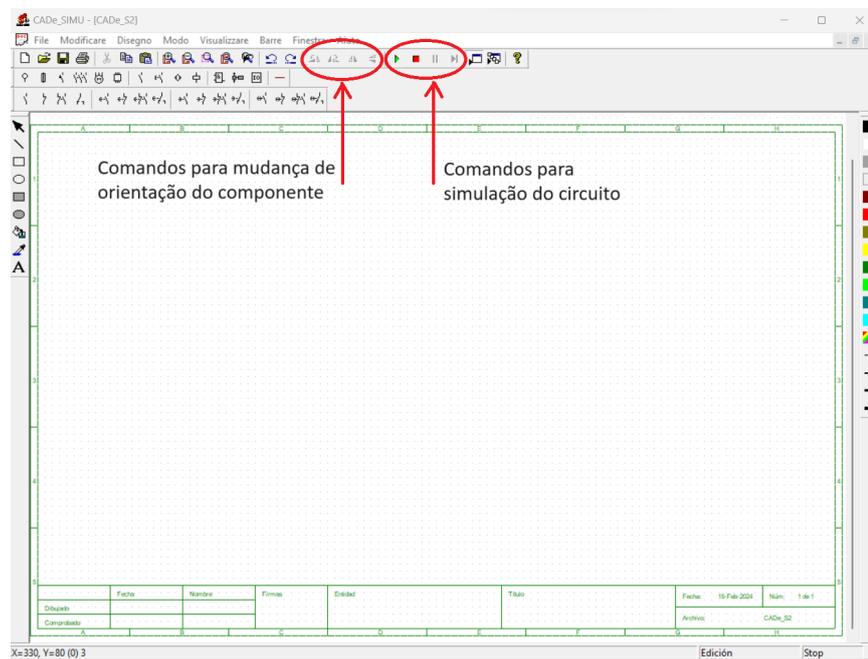


Figura 19 – Tela do *Software CADeSIMU*

Fonte: Produzida pelo autor

Observe na Figura 19, que na barra de ferramentas apresentada logo abaixo da barra de menus, à esquerda, estão disponíveis os ícones típicos de: arquivo novo, abrir arquivo, salvar, imprimir, entre outros. Na mesma barra, à direita, estão disponíveis os ícones de iniciar e parar simulação, ícones de mudança de orientação dos componentes, entre outros.

Para inserir os componentes do circuito que se deseja desenhar, o usuário deve clicar em um grupo de componentes na segunda barra de ferramentas, com isso a terceira barra de ferramentas irá disponibilizar os componentes daquele grupo, onde o usuário deve

²⁹ Esta ferramenta pode ser utilizada para adequar o diagrama aos padrões de cores recomendados para o tipo de circuito ou para diferenciar partes do projeto conforme as necessidades específicas da elaboração. A norma que padroniza, entre outras coisas, as cores dos condutores é a ABNT NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

clicar no componente que desejar, os componentes estão representados conforme a norma DIM (*Deutsches Institut für Normung*). O primeiro grupo, por exemplo, (Figura 20) traz componentes de alimentação elétrica, o sétimo (Figura 21) traz interruptores e o décimo (Figura 22) traz relés, temporizadores³⁰ e lâmpadas LED.

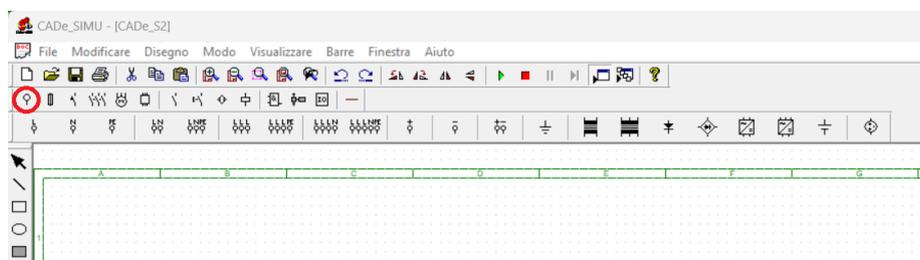


Figura 20 – Primeiro grupo de componentes

Fonte: Produzida pelo autor

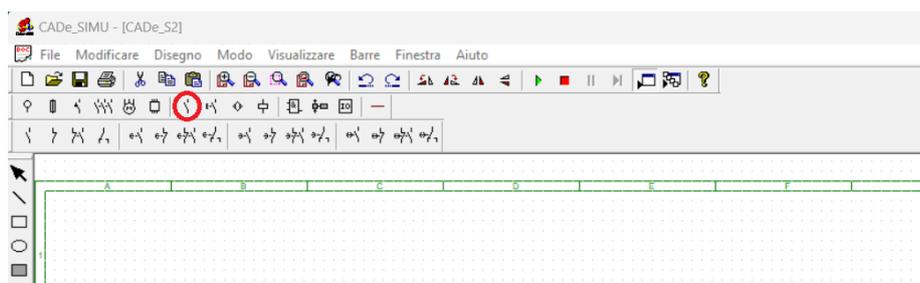


Figura 21 – Sétimo grupo de componentes

Fonte: Produzida pelo autor

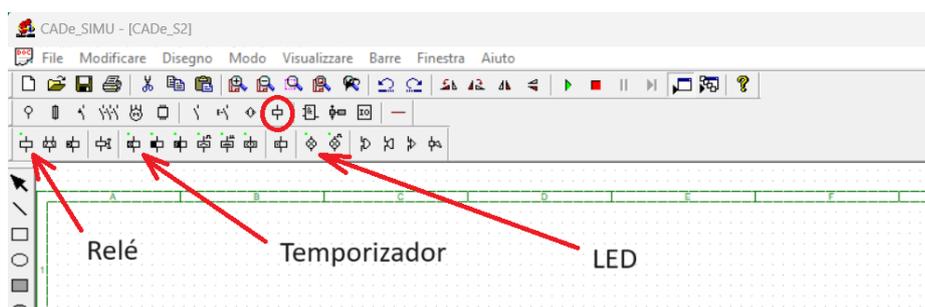


Figura 22 – Décimo grupo de componentes

Fonte: Produzida pelo autor

Após clicar no componente escolhido, basta clicar na tela e o componente estará disponível na área de trabalho do programa, se for necessário mais de uma unidade do componente basta clicar na tela quantas vezes desejar e cada clique disponibilizará uma nova

³⁰ Relés temporizadores são relés que ao serem acionados contam um tempo pré-estabelecido antes do acionamento da bobina do relé. Utilizando para isso uma associação de componentes eletrônicos.

unidade do mesmo componente na tela. Para finalizar a replicação do componente escolhido pressione a tecla “ESC”. Após colocar o componente na tela você pode movimentá-lo. Para isso, clique sobre a ferramenta de seleção (seta preta na barra vertical à esquerda), em seguida clique sobre o componente que deseja movimentar, segure e mova o mouse soltando no local desejado. Para desenhar o circuito elétrico entre os componentes disponibilizados, basta clicar na ferramenta linha abaixo da ferramenta de seleção e desenhar o circuito, clicando nos pontos entre os quais o circuito deve estar.

O programa pode ser obtido gratuitamente no site < <https://cadesimu.net/> >. Uma vez salto no computador, basta abrir a pasta de arquivos do programa encontrar o arquivo *CADe_SIMU* e executá-lo com clique duplo.

A versão “3.0” do programa, utilizada na experiência em campo, mostrou que a simulação de alguns diagramas podem apresentar falhas, principalmente quando os componentes são reposicionados muitas vezes, situação típica quando a representação é feita durante a concepção do circuito. Estas falhas podem ser contornadas redesenhando-se o circuito.

3.4.3 *PhET Colorado*

O *PhET Colorado* é um projeto educacional desenvolvido pela Universidade do Colorado Boulder, que oferece 167 simulações interativas, 121 traduções linguísticas e 3568 aulas enviadas por professores, nas áreas de física, química, biologia, ciências da terra e matemática. De modo que os conceitos teóricos destas ciências podem ser acessados de maneira visual e interativa a partir da experimentação de fenômenos, ajuste de variáveis e observação de resultados de tentativa e erro em um ambiente virtual, sem consequências reais. O estudante pode explorar conceitos como mecânica quântica, simular reações químicas, construir e testar circuitos elétricos e muito mais. E conta ainda com vídeos introdutórios sobre cada simulação, dicas e sugestões de atividades de aprofundamento.

Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Interactive Simulations da Universidade do Colorado em Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciência. Os Sims PhET são baseados em extensa pesquisa educacional e envolvem os alunos por meio de um ambiente intuitivo, semelhante a um jogo, onde os alunos aprendem por meio da exploração e descoberta (BOULDER, 2024) Traduzido automaticamente pelo navegador.

No que tange a esta proposta o *PhET Colorado* pode ser explorado na página

“Lei de *Faraday*”³¹ e na página “Kit de construção do circuito: AC”³² entre outras.

A primeira página proposta, “Lei de *Faraday*”, permite que o aluno experimente como a movimentação de um ímã perto de uma espira metálica produz corrente elétrica.

A Figura 23 é uma captura da tela da animação do *PhET Colorado* sobre a lei de *Faraday*, esta animação pode ser acessada por meio do endereço trazido na descrição da figura ou por pesquisa no *site PhET Colorado* com a palavra chave “Lei de *Faraday*”. Uma vez aberta a página da simulação, o aluno pode clicar com o botão principal no mouse sobre o ímã e movimentar o mouse (com o botão pressionado) pela tela observando o efeito do campo magnético sobre a espira, o efeito é observado pelo acendimento da lâmpada. A simulação traz, ainda, a possibilidade de variar a quantidade de espiras e a possibilidade de monitorar o efeito dessa variação e da variação da velocidade da movimentação do ímã sobre a tensão elétrica, uma vez que também traz a possibilidade de acionamento de um voltímetro³³ simulado.

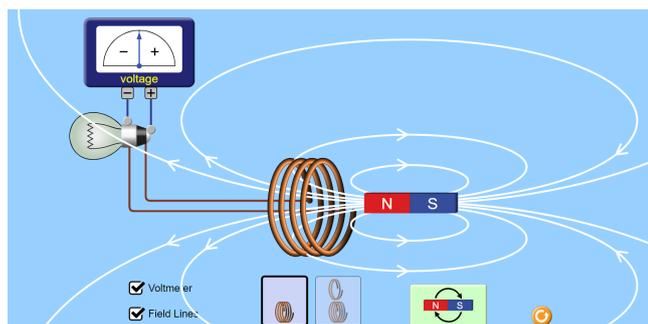


Figura 23 – *PhET Colorado*: “Lei de *Faraday*”

Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_all.html> Acesso em: 07 fev. 2024

Na segunda página proposta, “Kit de construção do circuito: AC”, o aluno dispõe de elementos como bateria (“Battery”), interruptor (“Switch”) e Lâmpada (“Light Bulb”) a esquerda na tela, além de Voltímetro e Amperímetro, entre outros, à direita na tela, para a elaboração de circuitos elétricos e simulação do comportamento do circuito montado.

A Figura 24 é uma captura da tela da animação do *PhET Colorado* sobre a construção de circuitos, esta página pode ser acessada por meio do endereço trazido na descrição da figura ou por pesquisa no *site PhET Colorado* com a palavra chave “Kit de

³¹ Esta página pode ser acessada pelo endereço eletrônico: <<https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law>>

³² Esta página pode ser acessada pelo endereço eletrônico: <<https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac>>

³³ Instrumento de medição de tensão elétrica

construção do circuito: AC”. Uma vez aberta a página da simulação, o aluno pode efetuar um clique duplo com o botão principal do mouse sobre qualquer elemento, à esquerda ou à direita na tela e mantendo o botão do mouse pressionado a partir do segundo clique levar o objeto até onde desejar e soltar o botão do mouse. Após escolher os elementos que deseja utilizar, o usuário pode movimentá-lo pela tela com o mesmo tipo de clique duplo utilizado. Para conectar o fio ao elemento basta clicar no círculo na extremidade do fio e levá-lo até o elemento que se deseja conectar.

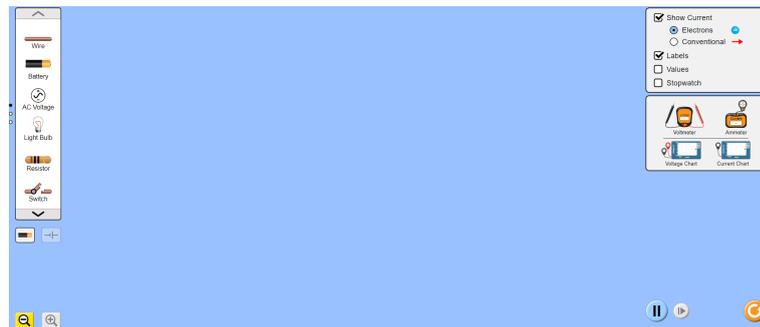


Figura 24 – **PhET Colorado: “Construção de Circuito”**

Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em: 07 fev. 2024

A Figura 25 mostra a elaboração de um circuito simples contendo uma fonte elétrica (bateria), uma lâmpada e um interruptor aberto. Ao clicar sobre o interruptor o *PhET Colorado* simula o fechamento do interruptor e a passagem de corrente elétrica como mostra a Figura 26.



Figura 25 – **PhET Colorado: Interruptor Aberto**

Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em: 07 fev. 2024

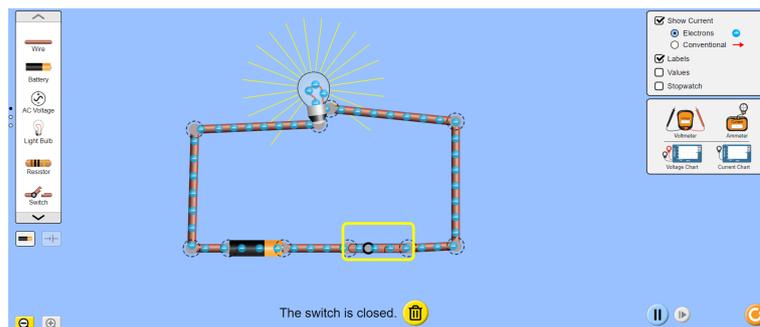


Figura 26 – **PhET Colorado: Interruptor Fechado**

Fonte: < https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_all.html > Acesso em: 07 fev. 2024

O aluno pode ainda testar a tensão e a corrente verificada no sistema através do simulador de amperímetro e do simulador de voltímetro disponíveis, bem como alterar os valores destas grandezas, uma vez que ao clicar em um componente aparece na parte inferior da tela a opção de alteração de propriedades e a opção de excluir o elemento da simulação (ícone da lixeira). (Figura 25)

O projeto *PhET Colorado* pode ser acessado, gratuitamente, pelo endereço eletrônico: <<https://phet.colorado.edu/>>. Sem a necessidade de instalação de programas, realização de *downloads* ou realização de cadastros.

No produto didático oferecido nessa dissertação, o *PhET Colorado* foi utilizado para simular o efeito descrito pela Lei de *Faraday*. A simulação utilizada está disponível no *link* <https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_all.html>

3.4.4 Tinkercad

O aplicativo Web *Tinkercad* é um *software* gratuito que foi concebido com o objetivo de tornar a modelagem 3D acessível ao público em geral. Atualmente o aplicativo pertence a *Autodesk*³⁴ e oferece muito mais recursos do que somente a elaboração de modelos 3D. O usuário do *Tinkercad* pode também, criar e simular circuitos elétricos analógicos e digitais, eletrônicos e blocos de código, permitindo que professores proporcionem “aos alunos experiências práticas e criativas” (BENFICA, 2023). É um aplicativo gratuito

³⁴ A *Autodesk* é uma multinacional norte americana que trabalha na produção de *softwares CAD-CAM* voltados para a representação gráfica. Seus produtos são amplamente difundidos entre arquitetos engenheiros e técnicos. Entre os produtos oferecidos pela empresa estão os programas *Revit* direcionado para a arquitetura e construção civil, *Inventor* direcionado para desenhos mecânicos e *AutoCad* programa tradicional de desenho técnico em geral.

“usado por mais de 50 milhões de pessoas em todo mundo [...] nas áreas de STEM³⁵ trazendo o aprendizado baseado em projeto para a sala de aula” (AUTODESK, 2024).

Para acessar o recurso, não é necessário nenhum tipo de instalação ou *download* de arquivos. O usuário deve se cadastrar no *site* < <https://www.tinkercad.com/> > como aluno, como professor ou por conta própria criando uma conta pessoal. Se o usuário tiver uma conta *google*, poderá utilizá-la para facilitar seu cadastro. Após a realização do cadastro e acesso ao aplicativo *Web*, ele oferece todas as suas ferramentas ao usuário de forma gratuita.

Para elaborar um projeto utilizando o aplicativo acesse sua conta no *Tinkercad* pelo endereço eletrônico < <https://www.tinkercad.com/> >, escolha a guia **projetos** à esquerda na tela, em seguida clique no ícone **criar**. Aqui você poderá escolher entre projeto de modelagem 3D, projeto de circuitos elétricos e eletrônicos ou projetos com blocos lógicos, clicando respectivamente nos ícones “Projeto 3D”, “Circuito” ou “Blocos de código”, como ilustrado na Figura 27. Os dois últimos veem ao encontro da proposta, em ambas as modalidades podemos trabalhar conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de projetos e simulações. Entretanto, com a modalidade de “Circuito” podemos explorar conceitos de Lógica com relés e interruptores. Por isso vamos explorar um pouco mais esta modalidade.

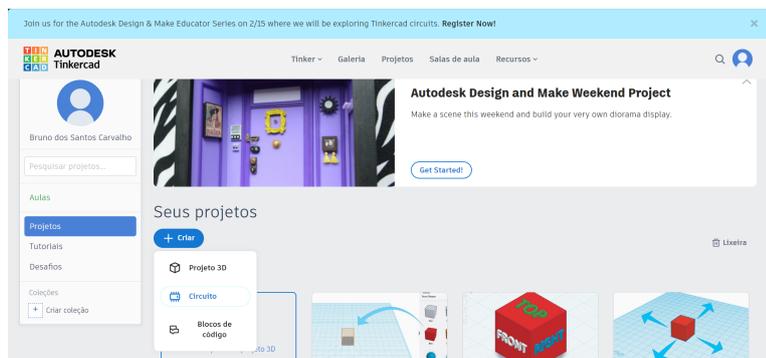


Figura 27 – Tela do *Tinkercad* “Circuito”

Fonte: < <https://www.tinkercad.com/dashboard?collection=designs> >
Acesso em: 16 fev. 2024

Após clicar em “Circuito” será aberta a tela de trabalho onde você pode montar o circuito. No canto superior da tela é possível alternar entre “vista do circuito” e “vista esquemática”. No primeiro (Figura 28) é possível escolher os componentes elétricos disponíveis para a elaboração do diagrama e eles aparecem como uma ilustração do objeto,

³⁵ Nota nossa: STEM é uma sigla para um movimento de ensino interdisciplinar e prático que integra ciências, tecnologia, engenharia e matemática

para que o usuário possa ter uma experiência mais próxima da realidade. Já em “vista esquemática” (Figura 29) é apresentado o diagrama no formato de projeto técnico em folha com margem e legenda, para impressão.

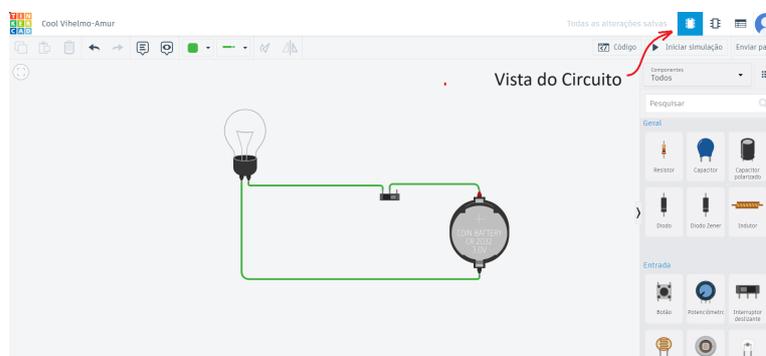


Figura 28 – Tela de “vista do circuito” do *Tinkercad* “Circuito”

Fonte: Produzido pelo autor em: <<https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits>> Acesso em: 16 fev. 2024

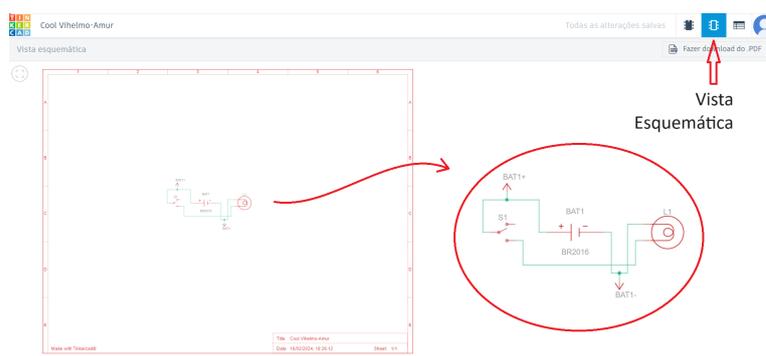


Figura 29 – Tela de “vista esquemática” do *Tinkercad* “Circuito”

Fonte: Produzido pelo autor em: <<https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits>> Acesso em: 16 fev. 2024

Para serem disponibilizados todos os componentes oferecidos pelo aplicativo clique em componentes no canto superior direito da tela de trabalho e escolha a opção “todos” (Figura 30). Logo abaixo escolha os componentes que deseja utilizar, clique sobre o componente e em seguida clique na janela de trabalho. Para construir o circuito entre os componentes, basta clicar em um polo de um componente e clicar no próximo polo a ser conectado pelo circuito. Para realizar desvios no fio basta clicar onde desejar que o fio faça o desvio e em seguida clicar na posição desejada. As ferramentas disponíveis na barra horizontal logo acima da tela de trabalho à esquerda permitem, entre outras coisas, copiar, colar, excluir ou rotacionar um componente e mudar a cor do circuito. O usuário pode

aproveitar essa possibilidade de mudança de cor para padronizar as cores dos condutores elétricos conforme a norma técnica (NBR 4510).

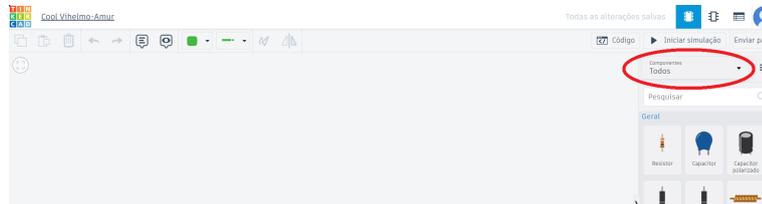


Figura 30 – Todos os componentes do *Tinkercad* “Circuito”

Fonte: Produzido pelo autor em: <<https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits>> Acesso em: 16 fev. 2024

Para simular o circuito criado clique em “iniciar simulação” logo abaixo de “vista do circuito” e “vista esquemática”. Durante a simulação o usuário pode experimentar o funcionamento dos componentes utilizados no circuito, clicando sobre eles (Figura 31). Para encerrar a simulação e voltar ao ambiente de edição do circuito clique em “parar simulação”.

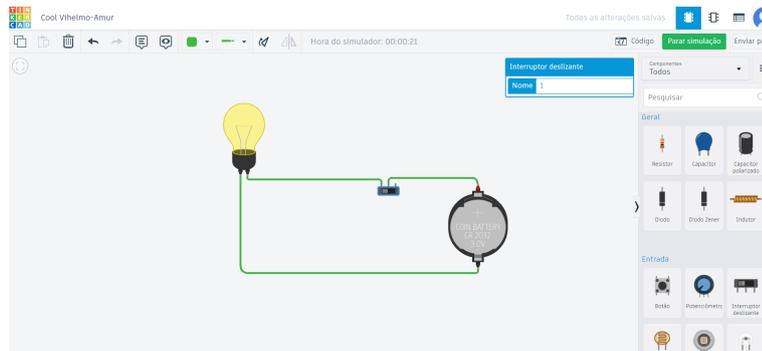


Figura 31 – Simulação no *Tinkercad* “Circuito”

Fonte: Produzido pelo autor em: <<https://www.tinkercad.com/things/iVK2QGC92R1-cool-vihelmo-amur/editel?tenant=circuits>> Acesso em: 16 fev. 2024

Após sair do aplicativo o usuário ainda pode acessar os projetos realizados anteriormente, basta voltar na tela inicial (Figura 27), rolar a barra de rolagem para baixo e lá encontrarão todos os projetos em que o usuário já trabalhou no *Tinkercad*, como mostrado na Figura 32.

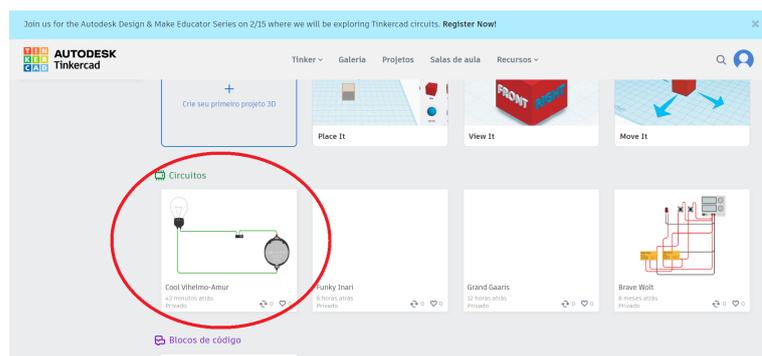


Figura 32 – **Salvamento automático do Tinkercad**

Fonte: < <https://www.tinkercad.com/dashboard?collection=designs> >
Acesso em: 16 fev. 2024

Este aplicativo foi utilizado na elaboração do produto didático oferecido nessa dissertação. Uma vez que disponibiliza os recursos necessários aos objetivos da proposta, é gratuito e pode ser acessado pela internet sem a necessidade de instalações. O aplicativo oferece a possibilidade de apenas simular circuitos prontos, preparados para demonstrações de propriedades, tais como as propriedades dos conectivos lógicos expressas por meio de relés e interruptores. E também permite que seja feita uma cópia do projeto para edição, o que favorece a interatividade do aluno com o projeto, já que ele pode construir seus próprios modelos com base no proposto. Além disso o ambiente de edição do circuito permite uma visualização didática dos componentes eletrônicos, semelhante aos componente reais. Espera-se que isso torne a simulação mais intuitiva e didática. Dois exemplos do uso destas simulações são dados pelo *link* <<https://youtu.be/v3ukyhelncI>> e pelo *link* <https://www.tinkercad.com/things/2WowM1Kh3SW-selo-eletrico?sharecode=S0pFJiy4WuE8w2tztKV9RmXf7bidPP2BG8_Br-j5lvg>, o primeiro mostra um vídeo produzido a partir da simulação de um projeto feito com o *Tinkercad*, o segundo traz o mesmo projeto no ambiente de simulação do aplicativo, disponível para simulação ou cópia para edição.

Para realizar somente simulação de um projeto não é necessário cadastro no aplicativo, basta acessar a simulação com um *link* disponibilizado pelo criador do projeto. Caso o usuário deseje editar o projeto simulado ou criar seus próprios projetos, basta criar uma cópia do mesmo em seus projetos ou iniciar o seu do zero, para isso é necessário a criação de uma conta no aplicativo, mas o processo é intuitivo e gratuito. No produto didático oferecido no Apêndice A orientamos sobre como proceder.

3.5 Aplicação da Lógica na automatização da validação de provas matemáticas

A Lógica Formal, como conhecemos no ocidente, surge com Aristóteles que organiza e classifica as formas validas de argumentação. Podendo ser entendida como,

o estudo da validade dos argumentos encadeados segundo premissas das quais se podem extrair uma conclusão. [...] Quando a Lógica Formal privilegiou a linguagem simbólica, se tornou um perfeito instrumento para a articulação das teorias matemáticas (SOUZA, 2013, p.10).

O uso das regras lógicas permite a validação de provas matemáticas a partir de demonstrações construídas com argumentações irrefutáveis e de validade universal.

Essa característica da argumentação lógica tem sido abordada na computação para a realização de verificações de provas e validade de modelos por meio de *softwares* de computadores. Isto é possível graças à representatividade da argumentação logica por meio de símbolos e a possibilidade de conversão dos argumentos lógicos para uma sintaxe *Booleana* que pode dialogar com a linguagem binária da máquina, o que esteve aliado à evolução da informática e permite

alcançar a formalização completa na prática. Trabalhando com “assistentes de prova computacional”, os usuários são capazes de verificar teoremas matemáticos substanciais, construindo derivações axiomáticas formais de notáveis complexidades (AVIGAD; HARRISON, 2014, p.67) *tradução nossa*³⁶.

Os assistentes de prova devem ser alimentados com um conjunto de axiomas e uma biblioteca de informações escolhidos pelo usuário de acordo com o modelo a ser testado ou com a prova que deseja realizar. Ao iniciar a prova, o assistente irá mostrar as eventuais lacunas verificadas nas premissas ou as inadequações da linguagem utilizada. Com isso,

O assistente computacional processa o insumo, reclama das partes que não consegue entender, mantém o controle de metas e obrigações de prova, e responde para consultas, digamos, sobre definições e teoremas no bibliotecas em segundo plano (AVIGAD, 2018, p.684) *tradução nossa*³⁷.

³⁶ Original: “to achieve complete formalization in practice. Working with “computational proof assistants,” users are able to verify substantial mathematical theorems, constructing formal axiomatic derivations of remarkable complexity.”

³⁷ Original: “The computational assistant processes the input, complains about the parts it cannot understand, keeps track of goals and proof obligations, and responds to queries, say, about definitions and theorems in the background libraries.”

Podemos observar que um dos avanços gerados pela microeletrônica destacados por Soares (1988), o *microcomputador*, que naquele momento se encarregava da burótica, veio ganhando cada vez mais importância na automação de processos. Tais processos excedem os limites da indústria, como destaca Camargo (2013) e passam a ser encontrados no comércio e nas residências com cada vez mais frequência. Chegando na automação do processo de obtenção de provas matemáticas e verificação de modelos de ciências e engenharia.

4 Lógica Matemática

Este capítulo é dedicado à revisão teórica sobre alguns conceitos de Lógica. A composição do seu referencial teórico é feita a partir de materiais didáticos utilizados em cursos de Lógica presentes nos ensinos técnico e superior. Entretanto, tendo em vista a acessibilidade do leitor que desejar utilizar o capítulo para fundamentar a aplicação do produto didático, os conceitos serão tratados com linguagem e exemplos acessíveis ao público menos familiarizado com o tema, de forma que o texto seja auto-contido e útil para os fins da proposta que será apresentada no Capítulo 5.

A abordagem feita neste capítulo será fundamentada nos textos de Gomes e Silva (2008), Souza (2015), Roggia e Fuentes (2016), Gregg (1998), Hut e Ryan (2004) e Daghlian (1995).

4.1 Um pouco sobre Lógica Proposicional

Proposição é um conceito primitivo que se refere a “todo conjunto de palavras ou símbolos que expressem um pensamento de sentido completo” (GOMES; SILVA, 2008, p.2). Existem Lógicas não clássicas que tratam de outros tipos de sentenças, mas para os propósitos deste trabalho estudaremos as sentenças lógicas declarativas. Para Souza (2015) estas sentenças são aquelas que podem ser consideradas verdadeiras ou falsas. As proposições podem ser consideradas sentenças declarativas, desde que se excluam as possibilidades de ambiguidade. Além disso, sentenças escritas de formas diferentes, ou em tempos verbais diferentes, podem possuir o mesmo conteúdo lógico, se tratando, portanto, da mesma proposição.

Exemplo 4.1.1 (Sentença Ambígua) *Leia o período a seguir:*

Choveu na rua da casa de Maria e ela ficou brava, pois estava molhada.

Deste período, podemos obter três sentenças declarativas:

1 - Choveu na rua da casa de Maria

2 - Maria ficou brava

3 - Estava molhada

As duas primeiras, analisadas isoladamente são proposições, enquanto a terceira não. Na terceira afirmação há uma ambiguidade. Note que não está claro o que está molhada: o leitor pode interpretar que Maria está molhada ou que a rua está molhada. Logo, a sentença “Choveu na rua da casa de Maria e ela ficou brava, pois estava molhada.” não é uma proposição, pois apresenta sentença ambígua, ou seja, apresenta sentença que oferece a possibilidade de mais de uma interpretação.

Exemplo 4.1.2 (Sentenças diferentes com o mesmo conteúdo lógico) Tome, em particular, a segunda sentença da afirmação do Exemplo 4.1.1:

“Maria ficou brava”.

Tal sentença possui o mesmo conteúdo lógico se reescrita como: “Ela ficou brava” ou “Ela se embraveceu”.

Para o estudo da Lógica Proposicional é necessário que seja estabelecido um alfabeto da linguagem, que é um conjunto de símbolos que definirão as construções sintáticas a partir de regras gramaticais. “[...] a Lógica é chamada de Lógica Formal, dado que nela a ênfase não é o estudo de argumentos expressos em linguagem natural. Em vez disso, estudamos a forma dos argumentos, que é revelada pelo uso de símbolos [...]” (SOUZA, 2015, p. 3).

Definição 4.1.1 (Alfabeto) [Souza (2015, p. 4)] O alfabeto da Lógica Proposicional é constituído por:

- Símbolos de pontuação: “(” e “)”, que servem para agrupar sentenças.
- Símbolos proposicionais: são utilizados para representar afirmações; em geral, utilizaremos letras maiúsculas do final do alfabeto, indexadas ou não, para representar tais símbolos (P, Q, P_1, Q_1, \dots);
- Conectivos proposicionais: $\neg, \vee, \wedge, \rightarrow, \leftrightarrow$.

Vejamos o significado de cada um dos conectivos proposicionais, começando pelos três primeiros “ \neg ” “ \vee ” “ \wedge ”.

- O conectivo “ \neg ”, designado por “não”, serve para representar a negação de uma afirmação.

- O conectivo “ \vee ”, designado por “ou”, é utilizado para designar a ocorrência de pelo menos uma das proposições entre as quais o mesmo é colocado.
- O conectivo “ \wedge ”, designado por “e”, serve para designar a ocorrência simultânea das duas proposições entre as quais o mesmo é posto. $P \wedge Q$ só ocorre se P ocorre e Q também ocorre.

Exemplo 4.1.3 (Utilizando os conectivos “ \neg ”, “ \vee ” e “ \wedge ”) *Sejam as proposições: P = “estou escrevendo” e Q = “estou falando”. Temos que:*

- $\neg P$ = “não estou escrevendo”. $\neg P$ só ocorre se “não estou escrevendo”.
- $P \vee Q$ = “estou escrevendo” ou “estou falando”. O caso $P \vee Q$ ocorre se “estou escrevendo” e não “estou falando” ou se não “estou escrevendo” e “estou falando” ou se “estou escrevendo” e “estou falando”. $P \vee Q$ só não ocorre se não “estou escrevendo” nem “estou falando”, ou seja, na negativa das duas proposições.
- Temos que $P \wedge Q$ = “estou escrevendo” e “estou falando”. Este caso, $P \wedge Q$ **não** ocorre se “estou escrevendo” e não “estou falando” ou se não “estou escrevendo” e “estou falando” ou se não “estou escrevendo” e não “estou falando”. $P \wedge Q$ só ocorre se “estou escrevendo” e “estou falando” simultaneamente.

O conectivo “ \rightarrow ” significa: “se - então” ou “implica”. É aplicado às situações em que a ocorrência da proposição à esquerda do conectivo é condição suficiente para garantir a ocorrência da proposição à direita, mesmo que não seja necessária.

Exemplo 4.1.4 (Utilizando o conectivo “ \rightarrow ”) *Tome P = “bebo água” e Q = “me hidrato”. Note que se “bebo água” então “me hidrato”. Logo, $P \rightarrow Q$. Veja que “bebo água” não é condição necessária para “me hidrato” (eu poderia me hidratar bebendo suco, por exemplo). No entanto, “bebo água” é condição suficiente para “me hidrato” (a hidratação é consequência do consumo de água).*

O conectivo “ \leftrightarrow ” significa “se, e somente se”; também é designado por “bi-implicação”. Este é usado nos casos em que a ocorrência da proposição à esquerda do símbolo é condição necessária e suficiente para que a proposição à direita do símbolo ocorra.

Exemplo 4.1.5 (Utilizando o conectivo “ \leftrightarrow ”) Seja $P = “x = 3”$ e $Q = “2x + 5 = 11”$. Temos $P \leftrightarrow Q$. Note que “ $x = 3$ ” é condição necessária para que “ $2x + 5 = 11$ ” (não há outro valor de x que satisfaça a equação). E “ $x = 3$ ” é, também, condição suficiente para que “ $2x + 5 = 11$ ” (note que, de fato, quando $x = 3$ temos $2x + 5 = 11$).

Exemplo 4.1.6 (Utilização adequada dos conectivos “ \rightarrow ” e “ \leftrightarrow ”) Considere as proposições: $P = “x = 2”$ e $Q = “x^2 = 4”$. P é condição suficiente para que ocorra Q (de fato, $2^2 = 4$). No entanto, P não é condição necessária para que ocorra Q (note que $(-2)^2 = 4$). Logo, é incorreto que $P \leftrightarrow Q$, mas, é correto que $P \rightarrow Q$.

Portanto, $P \leftrightarrow Q$ irá ocorrer quando forem, simultaneamente, válidas as fórmulas $P \rightarrow Q$ e $Q \rightarrow P$.

Gomes e Silva (2008) traz um sexto conectivo lógico: $\underline{\vee}$ (disjunção exclusiva), além dos conectivos já mencionados: \neg (negação), \wedge (conjunção), \vee (disjunção), \rightarrow (condicional), \leftrightarrow (bi condicional). O conectivo $\underline{\vee}$, designado por “ou”... “ou”..., é utilizado na ocorrência de uma, e apenas uma, das proposições entre as quais o mesmo é colocado.

Exemplo 4.1.7 (Utilizando o conectivo $\underline{\vee}$) Retomemos as proposições trazidas no Exemplo 4.1.3. Seja $P = “estou escrevendo”$ e $Q = “estou falando”$. Temos que $P \underline{\vee} Q =$ “estou escrevendo” ou “estou falando”. Neste caso a veracidade de $P \underline{\vee} Q$ ocorre apenas se “estou escrevendo” e não “estou falando”, ou se não “estou escrevendo” e “estou falando”. Aqui, a situação em que é verdade “estou escrevendo” e “estou falando” não caracteriza a veracidade de $P \underline{\vee} Q$, diferentemente do Exemplo 4.1.3.

Definição 4.1.2 (Fórmulas Lógicas) [Souza (2015, p.5)] As fórmulas da linguagem da Lógica Proposicional são construídas, de forma indutiva, a partir dos símbolos do alfabeto conforme as regras a seguir. O conjunto das fórmulas é o menor conjunto que satisfaz as regras:

1. todo símbolo proposicional é uma fórmula;
2. se H é uma fórmula, então $(\neg H)$, a negação de H , é uma fórmula;
3. se H e G são fórmulas, então a disjunção de H e G , dada por $(H \vee G)$, é uma fórmula;
4. se H e G são fórmulas, então a conjunção de H e G , dada por $(H \wedge G)$, é uma fórmula;

5. se H e G são fórmulas, então a implicação de H em G , dada por $(H \rightarrow G)$, é uma fórmula. Nesse caso, H é o antecedente e G o conseqüente da fórmula $(H \rightarrow G)$;
6. se H e G são fórmulas, então a bi-implicação de H e G , dada por $(H \leftrightarrow G)$, é uma fórmula. Nesse caso, H é o lado esquerdo e G o lado direito da fórmula $(H \leftrightarrow G)$.

Assim como existe ordem de precedência entre os operadores matemáticos ¹, também existe ordem de precedência entre os conectivos proposicionais ou operadores lógicos². No caso das operações matemáticas,

a ordem de precedência entre as operações possibilita a eliminação de parênteses das fórmulas. Considere, por exemplo, na aritmética, a expressão $2 + 4 \times 5$ Mesmo com a ausência de parênteses, todos sabem que essa expressão equivale a $(2 + (4 \times 5))$ (SOUZA, 2015, p. 7).

Definição 4.1.3 (Precedência de conectivos lógicos) [Souza (2015, p.7)]

A ordem decrescente de precedência dos conectivos é:

- \neg possui maior precedência;
- \rightarrow e \leftrightarrow possuem precedência intermediária;
- \wedge e \vee possuem menor precedência.

Exemplo 4.1.8 (Ordem de precedência) *Utilizando a ordem de precedência estabelecida na Definição 4.1.3, a fórmula lógica $((\neg P) \rightarrow Q) \vee P$ pode ser escrita como $\neg P \rightarrow Q \vee P$.*

Definição 4.1.4 (Sub-fórmula) [Souza (2015, p.11)]

Seja H uma fórmula da Lógica Proposicional, então:

- H é uma sub-fórmula de H ;
- Se H é uma fórmula do tipo $(\neg G)$, então G é uma sub-fórmula de H ;
- Se H é uma fórmula do tipo: $(G \vee E)$, $(G \wedge E)$, $(G \rightarrow E)$ ou $(G \leftrightarrow E)$, então G e E são sub-fórmulas de H ;

¹ lembre-se de que em uma expressão matemática os operadores de multiplicação e de divisão têm precedência em relação aos operadores de soma e subtração

² Veremos na Seção 4.3 que, em Lógica *Booleana*, os conectivos lógicos são chamados de operadores lógicos.

- Se G é sub-fórmula de H , então toda sub-fórmula de G é sub-fórmula de H .

Exemplo 4.1.9 (Sub-fórmulas de uma fórmula lógica) *Sejam P e Q proposições $(\neg P \wedge Q)$ uma fórmula lógica, temos que: P , Q , $(\neg P)$ e $(\neg P \wedge Q)$ são sub-fórmulas da fórmula $(\neg P \wedge Q)$.*

Gomes e Silva (2008) chama estas proposições, formadas por outras proposições, de “proposições compostas”. Neste trabalho também chamaremos assim, além disso consideraremos o alfabeto proposto por Souza (2015) acrescido do conectivo de disjunção exclusiva.

4.2 Sintaxe e Semântica

Até aqui, o Capítulo 4.1 tratou da concatenação de símbolos pertencentes ao alfabeto lógico e das regras a partir das quais estes símbolos são dispostos, para a construção de fórmulas dotadas de sentido lógico, sem considerar suas possíveis interpretações. Nestes casos estamos lidando com a *Sintaxe* das fórmulas lógicas.

No entanto, as fórmulas lógicas podem ser interpretadas de formas diferentes. Retomemos o Exemplo 4.1.4: na proposição P pode ser que eu “beba água” ou não “beba água”, na proposição Q pode ser que eu “me hidrate” ou não “me hidrate”. E estas possíveis interpretações, de cada proposição simples que compõe a fórmula, serão determinantes na interpretação da fórmula como um todo. Veja que se interpretamos como verdadeiras as proposições “bebo água” e “me hidrato”, temos que a afirmação se “bebo água então me hidrato” é também verdadeira. No entanto, se interpretamos como verdadeira a proposição “bebo água” e como falsa “me hidrato”, temos que a afirmação se “bebo água então me hidrato” é falsa.

Quando tratamos das interpretações das proposições lógicas, estamos discutindo a *Semântica*. Na Lógica Proposicional, os possíveis significados semânticos das fórmulas são apenas dois: verdadeiro ou falso.

Nesse contexto, cada fórmula sintática está associada a uma interpretação e, por isso, o mundo lógico é dividido em duas partes: o mundo sintático e o mundo semântico. O primeiro é construído a partir dos símbolos do alfabeto. Nesse mundo, as fórmulas são consideradas apenas como concatenações de símbolos, que representam declarações. Por outro lado, é no mundo semântico onde ocorre o resultado das interpretações dos símbolos e fórmulas do mundo sintático. Assim, para que tudo funcione bem, é fundamental que as declarações representadas pelos símbolos

possam ser interpretadas como verdadeiras ou falsas. Por isso, na Lógica Proposicional, não consideramos qualquer tipo de declaração, mas apenas aquelas que possam ser, efetivamente, interpretadas. Tais declarações são denominadas por proposições (SOUZA, 2015, p.19).

O significado semântico de uma fórmula lógica dependerá dos significados ou valores, atribuídos a cada uma das suas sub-fórmulas. Por exemplo, se $H = (\neg P \wedge Q)$, o valor lógico de H depende dos valores lógicos atribuídos a P e Q .

Definição 4.2.1 (Função interpretação) “Uma interpretação I , na Lógica Proposicional, é uma função binária na qual:

- O domínio de I é constituído pelo conjunto das fórmulas da Lógica Proposicional;
- O contradomínio de I é o conjunto $\{T, F\}$ ” (SOUZA, 2015, p.23).

Designa-se o valor lógico de uma proposição P por “ $\nu(P)$ ”; a veracidade de uma proposição por “ $\nu(P) = T$ ”; e a falsidade de uma proposição por “ $\nu(P) = F$ ”.

Uma estrutura muito utilizada na literatura para explicitar todas as possíveis interpretações de uma fórmula, com base na interpretação de seus símbolos proposicionais, são as tabelas verdade. Na seção que segue, definiremos como se pode interpretar uma fórmula a partir da interpretação dos seus símbolos proposicionais e dos conectivos que a compõem. Também, mostraremos como construir a tabela verdade associada a uma fórmula.

4.2.1 Tabela Verdade

Chamamos de Tabela verdade a tabela dotada de uma coluna para cada proposição contida na fórmula lógica e uma coluna para a fórmula, podendo conter colunas para as sub-fórmulas da fórmula lógica ou não. Nas linhas da tabela estão dispostos todos os valores que cada proposição pode assumir e o conseqüente valor assumido pela fórmula lógica.

Construiremos as tabelas verdade das proposições compostas utilizando os conectivos lógicos \neg , \wedge , \vee , \rightarrow , \leftrightarrow , $\underline{\vee}$, bem como de algumas proposições compostas mais complexas.

4.2.1.1 Negação

Dada a proposição composta $\neg P$ (não P), constituída da negação da proposição simples P , temos que a veracidade de P faz com que $\neg P$ seja falsa e a falsidade de P faz com que $\neg P$ seja verdadeira. Ou seja: $\nu(\neg P) = F$ quando $\nu(P) = T$ e $\nu(\neg P) = T$ quando $\nu(P) = F$. A tabela verdade para a negação é explicitada na Tabela 1.

P	$\neg P$
T	F
F	T

Tabela 1 – **Tabela verdade: Negação**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.1 (Aplicando a tabela verdade: Negação) Tome a proposição $P =$ “A luz está acesa”. Neste caso, podemos dizer que $\neg P =$ “A luz não está acesa”. Note que se é verdade que “a luz está acesa” então é falso que “a luz não está acesa”. E se é falso que “a luz está acesa” então é verdade que “a luz não está acesa”. Agora compare estas afirmações com os resultados da tabela verdade.

É importante ressaltar que $\nu(\neg\neg P) = \nu(P)$. Como podemos ver na Tabela 2

P	$\neg P$	$\neg(\neg P)$
T	F	T
F	T	F

Tabela 2 – **Tabela verdade: Dupla negação**

Fonte: Produzida pelo autor

4.2.1.2 Conjunção

Considere a proposição composta $P \wedge Q$ (P e Q). A validade de $P \wedge Q$ só é verificada quando ocorrem, simultaneamente, a verdade de P e a verdade de Q . Assim temos $\nu(P \wedge Q) = T$ quando $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T$. E teremos $\nu(P \wedge Q) = F$ quando $\nu(P) = F$ ou $\nu(Q) = F$; isto ocorre nos casos em que $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = T$, ou quando

$\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$, ou quando $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = F$. Deste modo, a tabela verdade para a conjunção é dada pela Tabela 3.

P	Q	$P \wedge Q$
T	T	T
T	F	F
F	T	F
F	F	F

Tabela 3 – **Tabela verdade: Conjunção**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.2 (Aplicando a tabela verdade: Conjunção) *Considere as proposições $P =$ “ n é um número par” e $Q =$ “ n é um número múltiplo de cinco”. Sem perda de generalidade, tome algum $n \in \{20, 12, 15, 11\}$. Se $n = 20$, “ n é par” e “ n é múltiplo de 5” (P e Q são verdadeiras). Se $n = 12$, “ n é par”, mas “ n ‘não’ é múltiplo de 5” (P é verdadeira e Q é falsa). Se $n = 15$, “ n ‘não’ é par”, mas “ n é múltiplo de 5” (P é falsa e Q é verdadeira). Quando $n = 11$ temos que “ n ‘não’ é par” e “ n ‘não’ é múltiplo de 5” (P e Q são falsas). Note que, como pode ser verificado na tabela verdade, temos que $P \wedge Q$ é verdadeira somente para $n = 20$, onde tanto a veracidade de P quanto a veracidade de Q são satisfeitas.*

4.2.1.3 Disjunção

Considere a proposição composta $P \vee Q$ (P ou Q). A validade de $P \vee Q$ ocorre quando pelo menos uma das proposições simples que à compõe é verdadeira. Assim temos $\nu(P \vee Q) = T$ quando $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T$, ou quando $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = T$, ou quando $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$. E teremos $\nu(P \vee Q) = F$ apenas quando $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = F$. Deste modo a tabela verdade para a disjunção é a Tabela 4.

P	Q	$P \vee Q$
T	T	T
T	F	T
F	T	T
F	F	F

Tabela 4 – **Tabela verdade: Disjunção**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.3 (Aplicando a tabela verdade: Disjunção) Tome como base o Exemplo 4.2.2. Temos que $P \vee Q$ é verdadeira para $n = 20$, onde tanto a veracidade de P quanto a veracidade de Q são satisfeitas, mas também é verdadeira para $n = 12$, em que pelo menos uma delas é verdadeira, o que também ocorre para $n = 15$. Entretanto, $\nu(P \vee Q) = F$ apenas em $n = 11$, onde P é falsa assim como Q também é falsa. Agora compare esta reflexão com os resultados da tabela verdade.

4.2.1.4 Condicional

A proposição composta $P \rightarrow Q$ (se P então Q), nos diz que a validade de P implica na validade de Q , ou simplesmente que: se P ocorre então Q ocorre. A falsidade de $P \rightarrow Q$ só não é verificada quando ocorre a veracidade de P com Q sendo falsa, nos demais casos $P \rightarrow Q$ é sempre verdadeira. Neste caso P é **condição suficiente para ocorrência de Q** (se ocorre P , é certeza que ocorre Q , mas Q pode ocorrer mesmo que P não tenha ocorrido). E Q é **condição necessária para ocorrência de P** (P só ocorre se Q ocorre). “Na proposição condicional $p \rightarrow q$, as proposições p e q são chamadas, respectivamente de, *precedente* e *consequente*” (GOMES; SILVA, 2008, p.7). Deste modo, a tabela verdade para a disjunção é dada pela Tabela 5.

P	Q	$P \rightarrow Q$
T	T	T
T	F	F
F	T	T
F	F	T

Tabela 5 – **Tabela verdade: Condicional**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.4 (Aplicando a tabela verdade: Condicional) Considere a proposição $P =$ “ a é uma capital” e $Q =$ “ a é uma cidade”. Note que, se é verdadeiro que “ a é uma capital” e também é verdadeiro que “ a é uma cidade” temos que $P \rightarrow Q$ é verdadeiro (a ocorrência de Q é condição necessária para que ocorra P e a ocorrência de P é condição suficiente para ocorra Q). Agora se é verdadeiro que “ a é uma capital”, mas é falso que “ a é uma cidade” temos que $P \rightarrow Q$ é falso, já que essa implicação exige que para que a

seja uma capital ela precisa ser uma cidade (Q é condição necessária para P). Quando é falso que “ a é uma capital”, mas é verdadeiro que “ a é uma cidade” temos que $P \rightarrow Q$ é verdadeiro, note que $P \rightarrow Q$ implica que Q é condição necessária para P mas não é condição suficiente, logo Q pode ser verdadeira sem que P seja. De fato, neste exemplo a pode ser uma cidade sem que seja, necessariamente, uma capital. Por fim tome falsa a proposição a é uma cidade e falsa a proposição a é uma cidade, temos $P \rightarrow Q$ é verdadeiro. A justificativa das duas últimas afirmações pode ser percebida facilmente com a constatação de que, a não sendo uma capital, pode ser ou não ser uma cidade. Bela vista de Goiás não é uma capital e é uma cidade, enquanto o bairro goianiense Campinas não é uma capital e não é uma cidade. Nem todas as proposições nos permitem fazer uma análise tão trivial, nem sempre podemos deduzir o resultado da consequente a partir da precedente ou vice e versa, mas os resultados da tabela verdade valem mesmo assim. Experimente verificar os resultados para a situação $P \rightarrow Q$, onde P = “azul é uma cor” e Q = “eu gosto de azul”. (Se azul é uma cor então eu tenho que gostar de azul! Se azul não é uma cor, então eu posso ou não gostar de azul).

4.2.1.5 Bi condicional

A proposição composta $P \leftrightarrow Q$ (P se, e somente se, Q), nos diz que a validade de P implica na validade de Q assim como a validade de Q implica na validade de P . Desse modo temos que a ocorrência de P é condição necessária e suficiente para ocorrência de Q , assim como a ocorrência de Q é condição necessária e suficiente para ocorrência de P . Logo $\nu(P \leftrightarrow Q) = T$ ocorre somente quando $\nu(P) = \nu(Q)$, ou seja, $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T$ ou quando $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = F$. (Veja na Tabela: 6)

P	Q	$P \leftrightarrow Q$
T	T	T
T	F	F
F	T	F
F	F	T

Tabela 6 – **Tabela verdade: Bi condicional**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.5 (Aplicando a tabela verdade: Bi Condicional) *Sejam proposições P = “o interruptor está ligado” e Q = “há passagem de corrente elétrica”, na bi condicional*

$P \leftrightarrow Q$. Note que “o interruptor está ligado” é condição necessária e suficiente para que “haja passagem de corrente elétrica”. Logo a verdade de P está biunivocamente³ associada a verdade de Q , assim como a falsidade de P está biunivocamente associada a falsidade de Q . Logo é verdade o que se afirma em: “o interruptor está ligado” e “há passagem de corrente elétrica”(se $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T$ então $\nu(P \leftrightarrow Q) = T$), assim como o que se afirma em: “o interruptor ‘não’ está ligado” e “‘não’ há passagem de corrente elétrica”(se $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = F$ então $\nu(P \leftrightarrow Q) = T$). Mas não é verdade que “o interruptor está ligado” e “‘não’ há passagem de corrente elétrica”(se $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$ então $\nu(P \leftrightarrow Q) = F$), assim como o que se afirma em: “o interruptor ‘não’ está ligado” e “há passagem de corrente elétrica” (se $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = T$ então $\nu(P \leftrightarrow Q) = F$)

4.2.1.6 Disjunção exclusiva

Dada a proposição composta $P \underline{\vee} Q$ (ou P ou Q). A validade $P \underline{\vee} Q$ é verificada quando ocorre a veracidade de uma, e somente uma, das proposições simples que a compõe. Assim temos $\nu(P \underline{\vee} Q) = T$ quando $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$, ou quando $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = T$. Já nos casos em que $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T$, ou $\nu(P) = F$ e $\nu(Q) = F$ teremos $\nu(P \underline{\vee} Q) = F$. Deste modo a tabela verdade para a disjunção exclusiva é a Tabela 7.

P	Q	$P \underline{\vee} Q$
T	T	F
T	F	T
F	T	T
F	F	F

Tabela 7 – **Tabela verdade: Disjunção exclusiva**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.2.6 (Aplicando a tabela verdade: Disjunção exclusiva) Tome como exemplo uma dieta, na qual a quantidade de carboidratos determinada equivale a uma porção de arroz ou uma porção de macarrão. Neste caso ou o paciente opta pela porção de arroz ou opta pela porção de macarrão. Sejam $P =$ “escolha do arroz” e $Q =$ “escolha do macarrão” duas proposições e $P \underline{\vee} Q$ uma proposição composta. Temos que “Escolher arroz” [$\nu(P) = T$]

³ Para mais informações sobre *relações biunívocas* o leitor pode consultar Lima (2013, p.162-163), que discute a relação biunívoca entre funções. E ainda Souza (2015, p.21-23) que interpreta os valores lógicos das proposições como possíveis valores de um conjunto imagem bivalente composto por dois elementos T, F .

e “escolher macarrão” $[\nu(Q) = T]$ contraria os requisitos da dieta $[\nu(P \vee Q) = F]$. “Escolher arroz” $[\nu(P) = T]$ e “‘não’ escolher macarrão” $[\nu(Q) = F]$ está de acordo com os requisitos da dieta $[\nu(P \vee Q) = T]$. “‘não’ escolher arroz” $[\nu(P) = F]$ e “escolher macarrão” $[\nu(Q) = T]$ está de acordo com os requisitos da dieta $[\nu(P \vee Q) = T]$. E por último “‘não’ escolher arroz” $[\nu(P) = F]$ e “‘não’ escolher macarrão” $[\nu(Q) = F]$ também contraria os requisitos da dieta $[\nu(P \vee Q) = F]$.

O leitor, mesmo o não familiarizado como o tema, já deve ter percebido uma diferença fundamental entre a *disjunção* e a *disjunção exclusiva*. A primeira é verdadeira para a intercessão⁴, enquanto a segunda não é verdadeira para a interseção. No entanto, Gomes e Silva (2008) ressalta:

Assim, na linguagem corrente, o conectivo **ou** pode assumir diferentes significados. [...] essa imprecisão da linguagem falada no dia a dia não pode ser tolerada na Lógica Matemática. Daí a necessidade da diferenciação entre a disjunção e a disjunção exclusiva (GOMES; SILVA, 2008, p.9).

Souza (2015, p.24) sintetiza as tabelas verdade dos cinco primeiros conectivos lógicos em uma única tabela. Aqui acrescentaremos uma sexta coluna para a *disjunção exclusiva*. No entanto, note que sua tabela é idêntica à negação da *bi condicional* e como veremos a seguir isso fará com que $(P \vee Q) \Leftrightarrow \neg(P \leftrightarrow Q)$, ou seja, a disjunção exclusiva é equivalente à negação da bi condicional: veja na Tabela 8, que os valores lógicos de $(P \vee Q)$ são exatamente os opostos dos valores lógicos de $(P \leftrightarrow Q)$.

P	Q	$\neg P$	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	$P \rightarrow Q$	$P \leftrightarrow Q$	$P \vee Q$
T	T	F	T	T	T	T	F
T	F	F	T	F	F	F	T
F	T	T	T	F	T	F	T
F	F	T	F	F	T	T	F

Tabela 8 – **Tabela verdade: Conectivos Lógicos**

Fonte: Produzida pelo autor

4.2.1.7 Tabelas verdade para proposições compostas mais complexas

De posse de tabelas verdade já construídas, pode-se construir tabelas verdade para proposições mais complexas. Basta que sejam criadas colunas auxiliares na tabela,

⁴ Considere como interseção a ocasião em que ambas as proposições são verdadeiras $[\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = T]$.

correspondentes às sub-fórmulas da fórmula principal, para solucionar as operações lógicas intermediárias, respeitando-se a ordem de precedência entre as operações.

Veamos como construir a tabela verdade da proposição composta:

$$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$$

Primeiro vamos estabelecer os possíveis valores lógicos possíveis das proposições simples P e Q .

P	Q	$\neg P$	$(\neg P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow Q)$	$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$
T	T				
T	F				
F	T				
F	F				

Agora vamos atribuir valores lógicos para a a coluna auxiliar $\neg P$. Lembre-se que basta trocar o valor lógico de P para obter o valor lógico de $\neg P$.

P	Q	$\neg P$	$(\neg P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow Q)$	$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$
T	T	F			
T	F	F			
F	T	T			
F	F	T			

Em seguida, use a Tabela 5 para construir a coluna auxiliar $(\neg P \rightarrow Q)$ tomando, é claro, $\neg P$ como *precedente* e Q como *consequente*.

P	Q	$\neg P$	$(\neg P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow Q)$	$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$
T	T	F	T		
T	F	F	T		
F	T	T	T		
F	F	T	F		

Agora use a Tabela 6 para construir a coluna auxiliar $(P \leftrightarrow Q)$ onde $\nu(P \leftrightarrow Q) = T$ ocorre quando $\nu(P) = \nu(Q)$.

P	Q	$\neg P$	$(\neg P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow Q)$	$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$
T	T	F	T	T	
T	F	F	T	F	
F	T	T	T	F	
F	F	T	F	T	

Finalizaremos com o auxílio da Tabela 4 para construir a coluna $(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$. Lembre-se que neste caso, na disjunção, o valor lógico da disjunção só é falso quando os valores das duas proposições é falso [$\nu(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q) = F$ ocorre somente quando $\nu(\neg P \rightarrow Q) = \nu(P \leftrightarrow Q) = F$].

P	Q	$\neg P$	$(\neg P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow Q)$	$(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$
T	T	F	T	T	T
T	F	F	T	F	T
F	T	T	T	F	T
F	F	T	F	T	T

Tabela 9 – **Tabela verdade:** $(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$

Fonte: Produzida pelo autor

Neste caso ocorre uma particularidade: todos os resultados de $(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$ são verdadeiros. Uma fórmula para a qual ocorre uma situação deste tipo é chamada de *Tautologia*. Assim, dizemos que a proposição composta $(\neg P \rightarrow Q) \vee (P \leftrightarrow Q)$ é uma proposição *Tautológica* porque todos os valores lógicos possíveis para as proposições simples que a compõe implicam que a proposição complexa é verdadeira. Caso o valor lógico da proposição composta fosse falso para qualquer valor atribuído às proposições simples teríamos o caso chamado de *Contradição*, neste caso todos os possíveis valores da coluna da proposição composta seriam falsos. Nas demais situações, àquelas em que aparecem valores T e F na tabela verdade, “temos uma *contingência* ou *indeterminação*” (DAGHLIAN, 1995, p.42). Souza (2015, p.53) chama de “*satisfável*” ou *factível* às fórmulas lógicas que possuem pelo menos um valor lógico T em sua tabela verdade, logo toda tautologia é uma proposição *satisfável*.

Em verdade, as colunas realmente relevantes nesta tabela verdade são a primeira, a segunda e a última, pois evidenciam a relação entre o valor lógico da proposição composta e o valor lógico das proposições simples. As outras colunas são apenas auxiliares e podem ser suprimidas caso o leitor consiga passar diretamente à última coluna (GOMES; SILVA, 2008, p.11).

Observação 4.2.1 (Número de linhas da tabela verdade) *Podemos determinar o número de linhas da tabela verdade com uso de análise combinatória⁵. Considere uma fórmula da Lógica Proposicional contendo n proposições simples. Cada uma destas proposições pode ser interpretada como verdadeira ou falsa; ou seja, existem dois possíveis valores de verdade para cada proposição simples. Assim, pelo Princípio Fundamental da Contagem, a tabela verdade associada a esta fórmula deve ter 2^n linhas.*

Agora vamos construir uma tabela verdade para uma proposição complexa formada por três proposições simples P , Q e R . Pela observação 4.2.1 já sabemos que essa tabela terá $2^3 = 8$ linhas.

Na Tabela 10, temos a tabela verdade da proposição complexa: $(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$.

Primeiro vamos atribuir os possíveis valores das variáveis P , Q e R .

P	Q	R	$(P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow R)$	$(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$
T	T	T			
T	T	F			
T	F	T			
T	F	F			
F	T	T			
F	T	F			
F	F	T			
F	F	F			

Agora vamos atribuir valores para $(P \rightarrow Q)$ utilizando os valores de P e Q com o auxílio da Tabela 5. E também atribuir os valores lógicos de $(P \leftrightarrow R)$ utilizando os valores lógicos de P e R com o auxílio da Tabela 6.

⁵ Se você deseja saber mais sobre *Análise Combinatória*, consulte: Morgado e Carvalho (2015, p.108-130), Filho e Barreto (2000, p.367-392) e Dante (2014, p.243-264).

P	Q	R	$(P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow R)$	$(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$
T	T	T	T	T	
T	T	F	T	F	
T	F	T	F	T	
T	F	F	F	F	
F	T	T	T	F	
F	T	F	T	T	
F	F	T	T	F	
F	F	F	T	T	

Por fim vamos utilizar a Tabela 3 para construir a coluna $(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$, considerando os valores lógicos de $(P \rightarrow Q)$ e $(P \leftrightarrow R)$. Lembrando que a verdade da conjunção só ocorre quando ambas proposições são verdadeiras.

P	Q	R	$(P \rightarrow Q)$	$(P \leftrightarrow R)$	$(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$
T	T	T	T	T	T
T	T	F	T	F	F
T	F	T	F	T	F
T	F	F	F	F	F
F	T	T	T	F	F
F	T	F	T	T	T
F	F	T	T	F	F
F	F	F	T	T	T

Tabela 10 – **Tabela verdade:** $(P \rightarrow Q) \wedge (P \leftrightarrow R)$

Fonte: Produzida pelo autor

4.2.2 Equivalência lógica

Definição 4.2.2 (Equivalência Lógica) *Duas proposições compostas (das mesmas proposições simples) H e R são **logicamente equivalentes** quando as tabelas verdade de H e de R são iguais. Neste caso, denotamos tal equivalência por $H \Leftrightarrow R$ (GOMES; SILVA, 2008, p.15).*

Considere as proposições compostas $H = (P \rightarrow Q)$ e $R = (\neg P \vee Q)$, representadas na Tabela 11.

			H	R
P	Q	$\neg P$	$(P \rightarrow Q)$	$(\neg P \vee Q)$
T	T	F	T	T
T	F	F	F	F
F	T	T	T	T
F	F	T	T	T

Tabela 11 – **Tabela verdade: H e R**
 Fonte: Produzida pelo autor

Note que as duas últimas colunas da Tabela 11 são iguais, portanto a tabela verdade da proposição $(P \rightarrow Q)$ é igual a tabela verdade da proposição $(\neg P \vee Q)$. Logo pela definição trazida por Gomes e Silva (2008) garante que $(P \rightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg P \vee Q)$, ou seja, H e R são logicamente equivalentes.

Exemplo 4.2.7 (Afirmações logicamente equivalentes) *Em um jogo de cara ou coroa, considere a face voltada para cima após o lançamento de uma moeda e as proposições $P =$ “ocorre cara”, $Q =$ “ganho o jogo”. Além disso considere que **se** “ocorre cara”, **então** “ganho o jogo”, ou seja, $P \rightarrow Q$. Esta afirmação é **equivalente** a dizer que: **se** “**não** ganho o jogo”, **então** “**não** ocorre cara” ($\neg Q \rightarrow \neg P$). Basta verificarmos os resultados da Tabela 12.*

P	Q	$P \rightarrow Q$	$\neg Q$	$\neg P$	$\neg Q \rightarrow \neg P$
T	T	T	F	F	T
T	F	F	T	F	F
F	T	T	F	T	T
F	F	T	T	T	T

Tabela 12 – **Tabela verdade: *Contra-positiva***
 Fonte: Produzida pelo autor

Note que a tabela verdade de $P \rightarrow Q$ é idêntica a tabela verdade de $\neg Q \rightarrow \neg P$, logo temos que $P \rightarrow Q \Leftrightarrow \neg Q \rightarrow \neg P$. A segunda fórmula é dita a *contra-recíproca*, ou a *contra-positiva* da primeira e é muito útil na elaboração de provas matemáticas por contradição. Outras proposições associadas à condicional $(p \rightarrow q)$ são: a recíproca $(q \rightarrow p)$

e a contrária ($\neg p \rightarrow \neg q$) “que embora sejam equivalentes entre si, não são equivalentes a $p \rightarrow q$ (verifique isso!)” (GOMES; SILVA, 2008).

Vamos aceitar o desafio dos autores! Na Tabela 13, observe que os valores das tabelas verdade das implicações $Q \rightarrow P$ e $\neg P \rightarrow \neg Q$ são idênticos, porém diferentes dos valores das tabelas verdade das implicações $P \rightarrow Q$ e $\neg Q \rightarrow \neg P$ dispostos na Tabela 12.

P	Q	$Q \rightarrow P$	$\neg Q$	$\neg P$	$\neg P \rightarrow \neg Q$
T	T	T	F	F	T
T	F	T	T	F	T
F	T	F	F	T	F
F	F	T	T	T	T

Tabela 13 – **Tabela Verdade: *Recíproca e Contrária***
Fonte: Produzida pelo autor

Façamos uma análise mais intuitiva a respeito da condicional e suas: contra-recíproca, recíproca e contrária. Pense na condicional do exemplo anterior: *se* “ocorre cara”, *então* “ganho o jogo” ($P \rightarrow Q$), é fácil perceber que: *se* “‘não’ ganho o jogo”, *então* “‘não’ ocorreu cara” ($\neg Q \rightarrow \neg P$), ou seja, a contra-recíproca tem o mesmo valor lógico da condicional. Agora pense na afirmação recíproca: *se* “ganho o jogo”, *então* “ocorre cara” ($Q \rightarrow P$), aqui a equivalência com a condicional $P \rightarrow Q$ não é verificada (seira se fosse uma bi condicional (\leftrightarrow), mas não é o caso), veja que “ocorrer cara” é condição suficiente, mas não necessária, para “ganhar o jogo” (eu poderia ganhar o jogo de alguma outra forma não mencionada) enquanto “ganhar o jogo” é condição necessária, mas não suficiente para “ocorrer cara”. Por fim, analise a afirmação contrária: *se* “‘não’ ocorre cara”, *então* “‘não’ ganho o jogo” ($\neg P \rightarrow \neg Q$), também não é equivalente à *se* “ocorre cara”, *então* “ganho o jogo” ($P \rightarrow Q$), já vimos que eu poderia “ganhar o jogo” mesmo ‘não’ tendo “ocorrido cara”, eventualmente por algum critério não descrito.

Outras equivalências lógicas muito interessantes e muito úteis ao método dedutivo e à validação de argumentos, estão disponíveis no Anexo D, das quais destacaremos as *leis de De Morgan*.

Vejamos nos exemplos 4.2.8 e 4.2.9, situações que envolvem a aplicação das *leis de De Morgan* (propriedades 16 e 17 disponíveis no Anexo D).

Exemplo 4.2.8 (Aplicação da lei de De Morgan: Propriedade 16) Considere as proposições: $P = \text{“há sol”}$ e $Q = \text{“há lua”}$. Dessa forma se “há sol” e “há lua” temos $(P \wedge Q)$, enquanto $\neg(P \wedge Q)$ significa que ‘não’ “há sol e lua” (ao mesmo tempo!), pode ser que “haja sol” e “não haja lua”, ou que “‘não’ haja sol” e “haja lua”, ou que “‘não’ haja sol” e “‘não’ haja lua”, só não pode ocorrer “há sol” e “há lua”. Tal situação pode ser representada por $(\neg P \vee \neg Q)$. Logo temos $\neg(P \wedge Q) \Leftrightarrow \neg P \vee \neg Q$ (lei de De Morgan). (Veja a Tabela 14)

P	Q	$P \wedge Q$	$\neg(P \wedge Q)$	$\neg P$	$\neg Q$	$\neg P \vee \neg Q$
T	T	T	F	F	F	F
T	F	F	T	F	T	T
F	T	F	T	T	F	T
F	F	F	T	T	T	T

Tabela 14 – Tabela Verdade: lei de De Morgan: propriedade 16

Fonte: Produzida pelo autor

Note que as colunas $\neg(P \wedge Q)$ e $\neg P \vee \neg Q$ são idênticas.

Exemplo 4.2.9 (Aplicação da lei de De Morgan: Propriedade 17) Agora pensemos um exemplo semelhante ao Exemplo 4.2.8 para aplicar a lei de De Morgan (propriedade 17 disponível no Anexo D). Considere as proposições: $P = \text{“há sol”}$ e $Q = \text{“há lua”}$. Dessa forma se “há sol” ou “há lua” temos $(P \vee Q)$, enquanto $\neg(P \vee Q)$ significa que ‘não’ “há sol” e ‘nem’ “há lua”, ‘não’ pode ser que “haja sol” e “‘não’ haja lua”, também não pode ser que “‘não’ haja sol” e “haja lua”, nem pode ocorrer “há sol” e “há lua”. A única possibilidade é que ‘não’ “haja sol” e ‘nem’ “haja lua”. Tal situação pode ser representada por $(\neg P \wedge \neg Q)$. Logo temos $\neg(P \vee Q) \Leftrightarrow \neg P \wedge \neg Q$ (lei de De Morgan). (Veja a Tabela 15)

P	Q	$P \vee Q$	$\neg(P \vee Q)$	$\neg P$	$\neg Q$	$\neg P \wedge \neg Q$
T	T	T	F	F	F	F
T	F	T	F	F	T	F
F	T	T	F	T	F	F
F	F	F	T	T	T	T

Tabela 15 – Tabela Verdade: lei de De Morgan: propriedade 17

Fonte: Produzida pelo autor

Veja que os valores lógicos das as colunas $\neg(P \vee Q)$ e $\neg P \wedge \neg Q$ são idênticos.

Gomes e Silva (2008) ressalta a importância das equivalências lógicas conhecidas, tais como aquelas apresentadas no Anexo D, na construção de provas de outras equivalências, sem a necessidade de escrever a tabela verdade das equivalências que se deseja provar. Este procedimento é conhecido como *Método Dedutivo*.

Vejam no Exemplo 4.2.10 o uso das equivalências (16), (1) e (12) do Anexo D para provar uma outra equivalência proposta:

Exemplo 4.2.10 (Prova pelo método dedutivo) *Vamos provar a sentença:*

$$(P \wedge Q) \vee \neg(\neg P \vee \neg R) \Leftrightarrow P \wedge (Q \vee R)$$

pelo Método Dedutivo

$$\begin{aligned} & (P \wedge Q) \vee \neg(\neg P \vee \neg R) \\ \Leftrightarrow & ^6 (P \wedge Q) \vee [\neg(\neg P) \wedge \neg(\neg R)] \\ \Leftrightarrow & ^7 (P \wedge Q) \vee (P \wedge R) \\ \Leftrightarrow & ^8 P \wedge (Q \vee R) \end{aligned}$$

Caso fosse feita a opção por provar a equivalência do Exemplo 4.2.10, utilizando as tabelas verdade das duas proposições equivalentes, seriam necessárias 8 linhas na tabela, já que temos 3 proposições simples na composição das fórmulas. Não ter que construir tabelas verdade extensas é uma vantagem do uso do *Método Dedutivo*, que torna-se mais evidente com o aumento do número de variáveis nas proposições. Veja outro exemplo do uso do *Método Dedutivo* na subSeção G.1.2 do Apêndice G, no Exemplo G.1.8.

Esta facilitação no processo de provar equivalências lógicas, possibilita a simplificação de sentenças, uma vez que uma sentença mais complexa pode ser substituída por sua equivalente mais simples, sem que se tenha que construir tabelas verdade. Isto será muito útil na *validação de argumentos*. Este tema será tratado na Seção G.1.1 do Apêndice G.

⁶ Equivalência válida pelo uso da Propriedade 16 do AnexoD

⁷ Equivalência válida pelo uso da Propriedade 1 do AnexoD

⁸ Equivalência válida pelo uso da Propriedade 12 do AnexoD

4.3 Um pouco sobre Lógica *Booleana*

A lógica, como campo de estudo, teve a contribuição de grandes filósofos, como Aristóteles (384-322 a.C.) por exemplo, mas permaneceu sem grandes avanços desde os filósofos gregos até a época da Inglaterra Vitoriana. Quando filósofos e matemáticos começaram a utilizar símbolos para representar sentenças e estabelecer regras para a manipulação dos mesmos. Tal abstração e aproximação com a matemática, alcançada pela lógica, deu origem à *Lógica Simbólica*, inaugurada por George Boole (1815-1864), de lá para cá, foram feitas alterações nas notações, operações foram abandonadas e operações foram inseridas, mas a essência de seu sistema permanece na *Álgebra Booleana* (GREGG, 1998). Segundo o autor,

Boole deu o primeiro salto para um verdadeiro sistema simbólico de símbolos abstratos que se baseia em axiomas formalmente declarados, em vez de usar várias formas de operações com símbolos para ilustrar ou complementar uma visão mais tradicional (e verbal) da abordagem lógica (GREGG, 1998, p.22-23) *tradução nossa*⁹.

De acordo com Gregg (1998) a *Álgebra Booleana* trata da manipulação de sistemas binários com operações que são chamadas de Funções *Booleanas*, onde temos o conceito de bit, que diz respeito a uma qualidade lógica, algo que pode estar ligado ou desligado, ser verdadeiro ou ser falso, ser representado por “1” ou ser representado por “0”. Isso permite que os princípios da *Álgebra Booleana* sejam a base para as operações computacionais realizadas por máquinas que funcionam com sinal elétrico, como os computadores eletromecânicos e os computadores atuais. Uma vez que,

Dentro dos circuitos de um computador digital, um nível de tensão é considerado zero e outro nível de tensão nível é considerado um. Existem diferentes dispositivos eletrônicos que leem e modificam esses níveis de tensão e, assim, imitam funções Booleanas. Quando usado por engenheiros em dispositivos digitais, a álgebra Booleana às vezes é conhecida como **álgebra de comutação** porque tais dispositivos são considerados redes complexas de comutadores que alternam entre zero e um (GREGG, 1998, p.23-24) *tradução nossa*¹⁰.

⁹ Original: Boole made the first leap to a truly symbolic system of abstract symbols resting upon formally stated axioms rather than using various forms of symbol operations to illustrate or supplement a more traditional (and verbal) approach to logic.

¹⁰ Original: Inside the circuits of a digital computer, one voltage level is taken to mean zero and another voltage level is taken to mean one. There are different electronic devices that read and modify these voltage levels and thereby mimic Boolean functions. When used by engineers in digital devices, Boolean algebra sometimes is known as **switchin galgebra** because such devices are thought of as complex networks of switches that switch between zero and one.

Contemporâneos de Boole pensaram em criar máquinas que operassem com base nos princípios lógicos da Álgebra de Boole, o filósofo e lógico americano, Charles Sanders Peirce (1839-1914) propunha a utilização da eletricidade para este propósito, chegando a desenhar circuitos elétricos baseados na Álgebra *Booleana*. Mas apenas na década de 30 do século XX, essa ideia de usar circuitos elétricos para aplicar os conceitos lógicos *booleanos* foi desenvolvida, dando início a era digital (GREGG, 1998).

Desde então estes conceitos estão presentes nos processos industriais, que utilizam circuitos elétricos, muitas vezes programados com apoio de componentes eletromecânicos. E também na eletrônica, na computação e, conseqüentemente, na automação dos processos de fabricação, que utiliza computadores industriais¹¹ para controlar o processo e produção.

4.3.1 Símbolos, Sintaxe, Semântica e Funções *Booleanas*

A semântica trazida por Daghlian (1995) pode ser entendida pela noção de interruptor como núcleo da frase lógica e são utilizados os símbolos “1” e “0”, análogos aos símbolos “*T*” e “*F*” da definição 4.2.1, sendo que “1” representa um interruptor *fechado* (há passagem de corrente elétrica) e “0” representa o interruptor *aberto* (não há passagem de corrente elétrica)¹². Veja a representação gráfica dos estados possíveis de um interruptor “*a*” na Figura 33. Um interruptor é um “dispositivo ligado a um ponto de um circuito elétrico, que pode assumir um dos dois estados: *fechado* (1) ou *aberto* (0)” (DAGHLIAN, 1995, p.18). Quando fechado permite passagem de corrente elétrica pelo circuito e quando aberto não permite passagem de corrente elétrica.

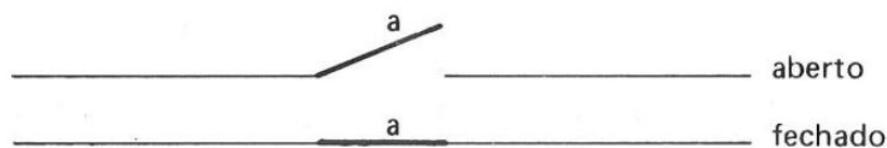


Figura 33 – Estados de um interruptor

Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.18)

Segundo Daghlian (1995) esta representação pode ser simplificada, ocultando-se o símbolo de fechado ou aberto e mantendo-se apenas a linha que representa o circuito e a

¹¹ Destacamos o uso do *CLP* (Controlador Lógico Programável), amplamente presente na automação industrial

¹² Esta mudança de de símbolos de *T* para 1 e *F* para 0 foi verificada em todos os autores que fundamentam esta proposta no que tange a Lógica *Booleana*, Gregg (1998), Roggia e Fuentes (2016), Daghlian (1995). Além disso, associa os valores semânticos da Lógica Proposicional aos circuitos elétricos

letra que representa o interruptor. Neste caso o estado do interruptor só é conhecido quando se atribui a ele o valor $a = 1$ ou $a = 0$, de modo que o mesmo estaria, respectivamente, fechado ou aberto.

A despeito de variações na nomenclatura, verificadas em todos os autores que tratam de Lógica *Booleana* e fundamentam este texto, a sintaxe é análoga a da Lógica Proposicional, valem as mesmas propriedades já verificadas, inclusive as equivalências lógicas, como aquelas que estão disponíveis no Anexo D. Destacamos na Tabela 18, as propriedades comutativa, associativa e distributiva. As operações lógicas são realizadas através das funções *Booleanas*, que são apresentadas a seguir:

4.3.1.1 Funções *Booleanas*

Nestas funções, tanto o domínio quanto a imagem pertencem a um conjunto binário, para o qual adotaremos os símbolos “0” e “1”, logo o domínio da função pertence ao conjunto $\{0, 1\}$ e a imagem da função, também pertence ao conjunto $\{0, 1\}$. E ainda, as operações realizadas entre as variáveis são de produto lógico, adição lógica e inversão lógica, como veremos a seguir.

Definição 4.3.1 (Função *Booleana* “*and*”) *Em Lógica Booleana, o conectivo e é interpretado como “produto lógico” designado por (\cdot) e representa o operador lógico and¹³, com propriedades análogas àsquelas verificadas na conjunção (Veja em: 4.2.1.2).*

A função ***and*** pode ser retratada por interruptores em série. Como mostra a Figura 34.



Figura 34 – **Interruptores em Série**

Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.19)

Neste caso a passagem de corrente elétrica só é verificada se ambos os interruptores a e b estiverem fechados, ou seja, só passa corrente se $a = b = 1$. Esta situação é denotada por $a \cdot b = 1$.

¹³ palavra em inglês para **e**

Definição 4.3.2 (Função Booleana “or”) Já o conectivo **ou** (\vee) é interpretado como “soma lógica” designada pelo símbolo (+) que representa o operador lógico *or*¹⁴, com propriedades análogas àquelas verificadas na disjunção (Veja em: 4.2.1.3).

A função **or** pode ser retratada por interruptores em paralelo. Como mostra a Figura 35.



Figura 35 – Interruptores em Paralelo

Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.19)

Neste caso, para que ocorra passagem de corrente elétrica no circuito basta que um deles (*a* ou *b*) esteja fechado. Assim passa corrente, tanto se $a = b = 1$, quando se $a = 1$ e $b = 0$, ou se $a = 0$ e $b = 1$. Esta situação é denotada por $a + b = 1$.

Definição 4.3.3 (Função Booleana “not”) Esta se trata do operador *not*¹⁵, com a mesma propriedade dada em 4.2.1.1, de inverter o valor lógico da proposição. A negação é representada, por Daghlian (1995) com um apóstrofo após o símbolo da proposição e por Roggia e Fuentes (2016), com uma barra sobre o símbolo que representa a proposição ao invés do símbolo \neg . Assim a negação de uma proposição *a* pode ser representada também por a' ou \bar{a} .

Como vimos em G.1.2, quaisquer operações lógicas (inclusive as de condicional “ \rightarrow ”, bi condicional “ \leftrightarrow ” e disjunção exclusiva¹⁶ “ $\underline{\vee}$ ”) podem ser feitas a partir dos conectivos \wedge (Função Booleana “**and**”), \vee (Função Booleana “**or**”) e \neg (Função Booleana “**not**”), o que traz completude ao sistema.

Definição 4.3.4 (Resultados das operações lógicas binárias)¹⁷.

¹⁴ palavra em inglês para **ou**

¹⁵ palavra em inglês para **não**

¹⁶ A representação da operação de disjunção exclusiva pode ser feita por \oplus ao invés de $\underline{\vee}$.

¹⁷ “Chama-se *operador binário* ou *operação binária* (*) a lei pela qual todo par ordenado de elementos (x,y) leva um terceiro elemento z” (DAGHLIAN, 1995, p.97)

Definiremos o resultado das operações Booleanas de **soma lógica** (*or*), de **produto lógico** (*and*) e de **negação lógica** (*not*)¹⁸ na Tabela 16.

Soma (<i>or</i>)	Produto (<i>and</i>)	Negação (<i>not</i>)
$0 + 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$	$\bar{0} = 1$
$0 + 1 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$	$\bar{1} = 0$
$1 + 0 = 1$	$1 \cdot 0 = 0$	
$1 + 1 = 1$	$1 \cdot 1 = 1$	

Tabela 16 – **Operações Booleanas**

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.3.1 (Proposição interpretada na forma de interruptores a , b , c e d .)

Na Figura 36 temos a seguinte composição:

- Os interruptores c e d associados em série, o que é representado pela operação *and*, logo temos $c \cdot d$.
- A associação $c \cdot d$ está associada em paralelo com o interruptor b , o que pode ser representado pela operação *or*, logo temos $b + (c \cdot d)$.
- Por fim temos que $b + (c \cdot d)$ está associado em série com o interruptor a . O que pode ser representado pela operação $a \cdot (b + (c \cdot d))$

A Figura 37 mostra o passo a passo descrito pelo Exemplo 4.3.1.

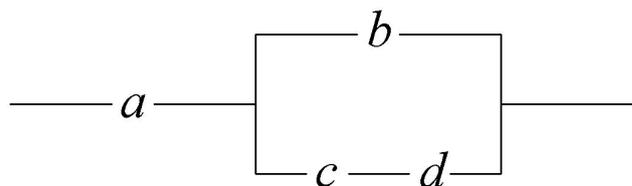


Figura 36 – **Associação de Interruptores: Exemplo 4.3.1**

Fonte: Produzida pelo autor

¹⁸ Roggia e Fuentes (2016) chama estas operações de SOMA BOOLEANA, PRODUTO BOOLEANO e INVERSÃO BOOLEANA, respectivamente

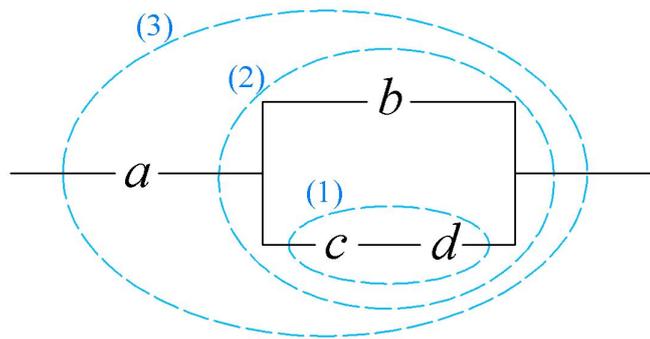


Figura 37 – Associação de Interruptores: Exemplo 4.3.1, passo a passo

Fonte: Produzida pelo autor

- (i) Note que se $a = 0$ (o interruptor a está aberto), não importam os valores dos outros interruptores, não passa corrente elétrica no circuito, ou seja, quando $a = 0$ temos que $a \cdot (b + (c \cdot d)) = 0$.
- (ii) Se $a = 1$ (o interruptor a está fechado) pode ser que passe corrente no circuito, a depender dos outros interruptores, se $a = 1$ e $b = 1$, não importam os valores de c e d , a corrente passa pelo ramo superior da associação em paralelo e o circuito é energizado. Temos $a \cdot (b + (c \cdot d)) = 1$ sempre que $a = 1$ e $b = 1$.
- (iii) Agora suponha que $a = 1$ e $b = 0$. Só teremos corrente elétrica no circuito no caso em que $c = 1$ e $d = 1$. Logo, com $b = 0$ temos que $a \cdot (b + (c \cdot d)) = 1$ apenas quando $a = 1$, $c = 1$ e $d = 1$.

Confira na Tabela 17 os casos em que o circuito está energizado, ou seja $a \cdot (b + (c \cdot d)) = 1$ e confirme os itens (i), (ii) e (iii).

a	b	c	d	$c \cdot d$	$b + (c \cdot d)$	$a \cdot (b + (c \cdot d))$
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Tabela 17 – **Tabela Verdade:** $a \cdot (b + (c \cdot d))$

Fonte: Produzida pelo autor

As últimas 8 linhas da Tabela 17 retratam exatamente o enunciado em (i). Enquanto as 4 primeiras linhas da Tabela 17 retratam o disposto em (ii). E por fim, da 5ª a 8ª linhas da Tabela 17 vemos exatamente o que foi mencionado em (iii).

A Tabela 18 apresenta algumas propriedades da Lógica *Booleana* e a Tabela 19 apresenta Teoremas *Booleanos*. “Os teoremas da álgebra de Boole são definidos para uma variável *Booleana* qualquer, ou seja, seu valor pode ser “0” ou “1” ” (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.69).

Propriedades <i>Booleanas</i>	
Comutativa da soma	$a + b = b + a$
Comutativa do produto	$a \cdot b = b \cdot a$
Associativa da soma	$(a + b) + c = a + (b + c) = a + b + c$
Associativa do produto	$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c) = a \cdot b \cdot c$
Distributiva da soma sobre o produto	$a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
Distributiva do produto sobre a soma	$a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$

Tabela 18 – **Propriedades *Booleanas***

Fonte: Produzida pelo autor

Com a devida revisão da simbologia utilizada, qualquer equivalência lógica já provada em Lógica Proposicional é válida na Lógica *Booleana*, bem como as do Anexo D.

Teoremas <i>Booleanos</i>	
Teorema da Soma	$a + 0 = a$ $a + 1 = 1$ $a + \bar{a} = 1$ $a + a = a$
Teorema do Produto	$a \cdot 0 = 0$ $a \cdot 1 = a$ $a \cdot \bar{a} = 0$ $a \cdot a = a$
Teorema do Complemento ou Inversão	$a = 0 \rightarrow \bar{a} = 1$ $\bar{a} = 0 \rightarrow a = 1$ $\bar{\bar{a}} = a$

Tabela 19 – Teoremas *Booleanos*

Fonte: Produzida pelo autor

Os teoremas acima (Tabela 19) podem ser provados com o uso das propriedades (1): $\neg p(\neg p) \Leftrightarrow p$, (2): $p \wedge p \Leftrightarrow p$, (5): $p \wedge t \Leftrightarrow p$, (6): $p \wedge c \Leftrightarrow c$, (7): $p \vee p \Leftrightarrow p$, (10): $p \vee t \Leftrightarrow t$ e (11): $p \vee c \Leftrightarrow p$, do Anexo D. Basta considerar que a negação inverte o valor lógico da proposição, considerar $t = 1$, $c = 0$ e fazer as demais adequações da simbologia.

4.3.2 Portas Lógicas

Nesta subseção vamos tratar dos “[...] circuitos lógicos mais básicos, as Portas Lógicas, que são os blocos a partir dos quais todos os sistemas digitais são construídos” (ROGGIA; FUENTES, 2016, p. 63). Elas permitem que circuitos digitais executem operações *Booleanas*.

As Portas Lógicas são circuitos digitais construídos por componentes eletrônicos conectados de tal forma que o sinal de saída corresponde ao resultado de uma função lógica. Possuem uma ou mais tensões de entrada e uma única tensão de saída, sendo que os valores possíveis destas tensões são somente dois: tensão de alimentação do circuito (VCC) ou tensão nula (terra ou GND). Por convenção, considera-se a tensão de alimentação como sinal lógico “1” e a tensão nula como sinal lógico “0” (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.63).

As Portas Lógicas mais básicas equivalem as Funções *Booleanas and, or e not*. A Tabela 20 mostra uma equivalência entre as operações lógicas fundamentais, já vistas

neste capítulo e as Portas Lógicas básicas, que são representadas nesta tabela segundo as normas: americana (MIL)¹⁹ e da comissão internacional de eletrotécnica (CEI)²⁰.

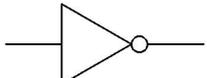
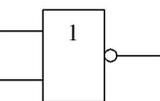
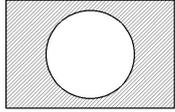
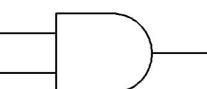
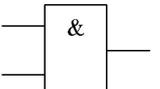
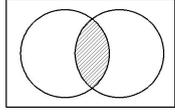
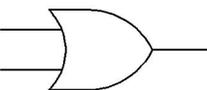
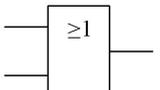
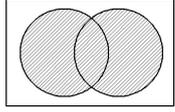
Conectivo Lógico	Função <i>Booleana</i>	Porta Lógica MIL	Porta Lógica CEI	Conjunto
Negação (\neg)	<i>not</i> ($\bar{\alpha}$)			
Conjunção (\wedge)	<i>and</i> (\cdot)			
Disjunção (\vee)	<i>or</i> ($+$)			

Tabela 20 – Conectivos Proposicionais, Operadores *Booleanos*, Portas Lógicas e Conjuntos

Fonte: Produzida pelo autor

A eletrônica dispõem de Circuitos Integrados, que executam as funções das Portas Lógicas. A informação que passa pela porta lógica nestes circuitos é um sinal elétrico, que possui valor “1” quando há corrente elétrica e valor “0” quando não há corrente elétrica no circuito. A Figura 38 mostra um destes dispositivos, à esquerda. O diagrama de suas funções de porta lógica, ao centro. E o esquema de entradas (*input*) e saídas (*output*) do Circuito Integrado, à direita. Nos polos de *input* são conectados os condutores que trazem o sinal de entrada, e nos polos de *output* são conectados os condutores que levam o sinal que será emitido pelo circuito. No caso dos Circuitos Integrados, as Portas Lógicas estão previamente definidas pelo dispositivo e sempre cumprem a mesma função. Estes circuitos são identificados por códigos, que os diferencia quanto a sua função. O circuito da Figura 38 é um Circuito Integrado 7432 que possui Portas Lógicas do tipo “*or*”.

¹⁹ Representação de Portas Lógicas conforme a norma: MIL-STD-806B (MILITARY STANDARD)

²⁰ Representação de Portas Lógicas conforme a norma: CEI (COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNACIONALE)

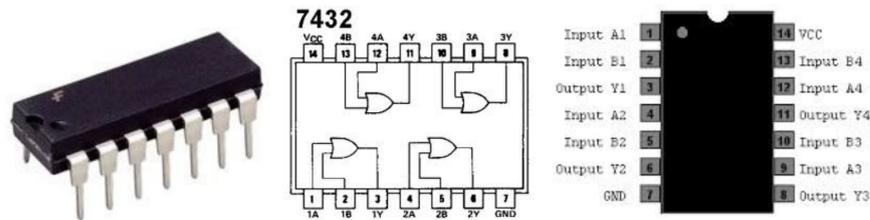


Figura 38 – **Circuito Integrado 7432**

Fonte: <<https://www.carrod.mx/products/ci-ttl-cuatro-compuertas-or-positiva-de-2-entradas-cada-una-74ls32>> Acesso em: 07 mar. 2024

Suponha que em uma manutenção de dois equipamentos elétricos em uma planta industrial, seja necessário que ambos estejam desligados para segurança do operador. E que nesse sistema a energização de qualquer um dos equipamentos deva acender uma lâmpada de alerta. Neste caso pode ser usado um Circuito Integrado dotado da porta *or*. Assim, quando a porta lógica recebe o sinal do acionamento de qualquer um dos equipamentos, ou de ambos, ela envia o sinal para o acendimento da lâmpada de alerta.

Já em dispositivos como os controladores lógicos programáveis *CLP* (veja mais em F.3.1), as Portas Lógicas podem ser programadas, proporcionando maior adaptabilidade aos diversos processos que este tipo de dispositivo pode controlar.

A simbologia adotada neste texto, para representar as Portas Lógicas, seguirá a norma americana (MIL), que segundo Daghljan (1995) é muito usada na prática, além de ter sido verificada na bibliografia utilizada na produção deste material. No entanto, esta pesquisa também verificou a utilização da representação dada pela comissão internacional de eletrotécnica (CEI), no programa *FluiSIM*. Logo, a menção à representação CEI é feita, já que este programa será utilizado no produto proposto. Além destas duas representações, Daghljan (1995) traz, também, a representação alemã (DIM)²¹. Consulte o Anexo E e veja estas e outras Portas Lógicas e Funções *Booleanas*, representadas nas normas MIL, CEI e DIM.

4.3.2.1 Porta Lógica *not*

Na porta lógica *not* temos uma tensão de entrada, à esquerda e uma tensão de saída, à direita, de modo que o valor do sinal de saída é oposto ao valor do sinal de entrada, ou seja, a porta *not* tem a função de inverter o sinal de entrada. Dessa forma temos:

²¹ Representação de Portas Lógicas conforme a norma: DIM 40700 (DEUTSCHE INDUSTRIE NORM)

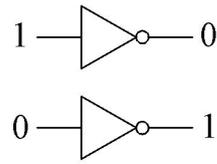


Figura 39 – **Porta Lógica not**
 Fonte: Produzida pelo autor

4.3.2.2 Porta Lógica **and**

A porta lógica *and* pode ter mais de uma tensão de entrada, à esquerda e apenas uma tensão de saída, à direita, de modo que o valor do sinal de saída é igual a “1” caso todos os valores de entrada sejam iguais a “1”. E o valor do sinal de saída é igual a “0” caso o valor de pelo menos um dos sinais de entrada seja diferente de “1”, ou seja, a porta *and* tem a função de conjunção dos sinais de entrada. Dessa forma temos:

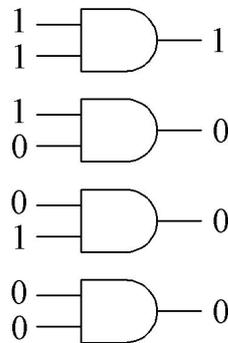


Figura 40 – **Porta Lógica and**
 Fonte: Produzida pelo autor

4.3.2.3 Porta Lógica **or**

A porta lógica *or* pode ter mais de uma tensão de entrada, à esquerda e apenas uma tensão de saída, à direita, de modo que o valor do sinal de saída é igual a “1” caso pelo menos um dos sinais de entrada tenha valor igual a “1”. E o valor do sinal de saída é igual a “0” caso todos os sinais de entrada tenham valor igual a “0”, ou seja, a porta *or* tem a função de disjunção dos sinais de entrada. Dessa forma temos:

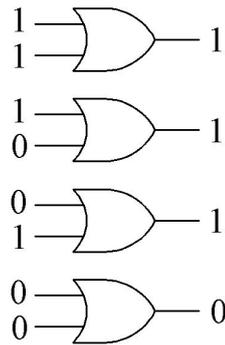


Figura 41 – **Porta Lógica or**
 Fonte: Produzida pelo autor

4.3.2.4 Portas Lógicas Derivadas

Na prática, Funções *Booleanas* derivadas das funções fundamentais *not*, *and* e *or* podem originar uma porta lógica derivada das Portas Lógicas básicas. Isso faz com que tenhamos mais Portas Lógicas disponíveis para as diferentes situações de programação, diminuindo a necessidade de arranjos complexos para a configuração do circuito.

Tomemos um caso particular, em que se deseje representar a função $x = \bar{a} + b$. Com as portas básicas seria necessário que a entrada a ocorresse em uma porta *not* e que a saída dessa porta *not* fosse conectada a entrada de uma porta *or*, enquanto a entrada b poderia se conectar diretamente na outra entrada da porta *or*. Tal arranjo pode ser representado por meio de uma única porta lógica, representada na Figura 42.

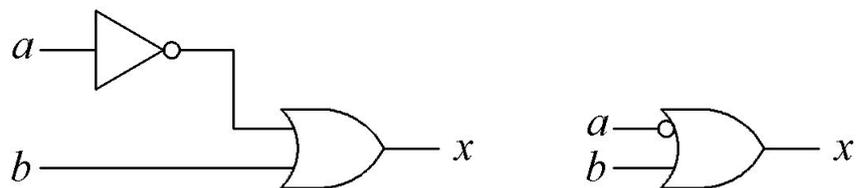


Figura 42 – **Porta Lógica para a função: $x = \bar{a} + b$**
 Fonte: Produzida pelo autor

Enquanto a representação de $x = \overline{a \cdot b}$ pode ser feita pela entrada de a e b em uma porta *and* que por sua vez é a entrada de uma porta *not* ou podemos utilizar uma porta derivada. Veja a Figura 43.

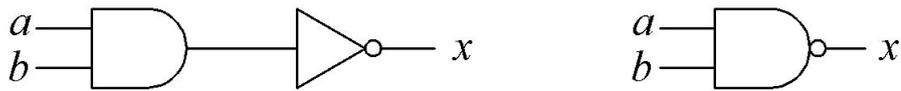


Figura 43 – **Porta Lógica para a função:** $x = a \cdot \bar{b}$
 Fonte: Produzida pelo autor

A Figura 44 mostra que a função $a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$ pode ser configurada através de um arranjo das Portas Lógicas fundamentais, mostrado a esquerda na imagem, que pode ser simplificado pela porta lógica *xor* (ou exclusivo), representada a direita, que oferece o mesmo resultado com uma representação mais simplificada.

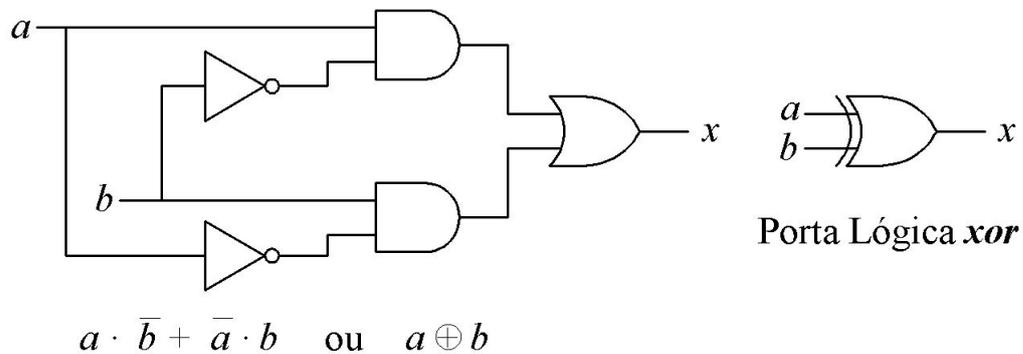


Figura 44 – **Porta Lógica *xor***
 Fonte: Produzida pelo autor

A Tabela 21) mostra mais algumas Portas Lógicas derivadas que facilitam a programação de equipamentos eletrônicos.

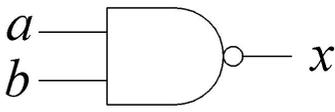
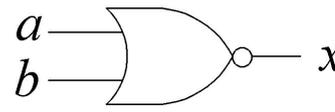
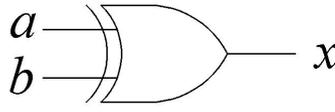
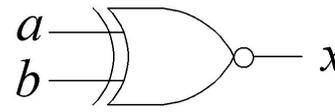
Porta Lógica		Função Booleana	Tabela-Verdade		
<i>nand</i> não e		$x = \overline{a \cdot b}$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i>
			0	0	1
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
<i>nor</i> não ou		$x = \overline{a + b}$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i>
			0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	0
<i>xor</i> ou exclusivo		$x = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$ $x = a \oplus b$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i>
			0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
<i>xnor</i> não ou exclusivo		$x = \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b$ $x = a \odot b$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i>
			0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	1

Tabela 21 – Algumas Portas Lógicas Derivadas

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo 4.3.2 (Aplicação das Portas Lógicas) Vamos pensar em uma situação prática onde é possível utilizar Portas Lógicas para controlar um processo. Suponha que uma esteira de transporte industrial seja acionada por um sistema eletrônico digital, no qual a comunicação ocorre através de uma porta lógica do tipo representado na Figura 45. Suponha também que a entrada *a* esteja conectada a uma alavanca de acionamento, de modo que o sinal recebido por *a* é “1” quando a alavanca está acionada e “0” quando a alavanca não está acionada. E que a entrada *b* está conectada a um sensor de presença, que quando detecta um objeto estranho envia sinal “1” para a porta lógica e quando não detecta objeto estranho o sinal é “0”.²² Verifique na tabela verdade (Tabela 22), que o sinal em *x* só é “1” quando o sinal em *a* é “1” e o sinal em *b* é “0”, ou seja, a esteira só é acionada quando a alavanca está acionada e o sensor não capta nenhum objeto estranho.

²² Lembre-se de que: sinal “1” equivale a passagem de corrente elétrica e sinal “0” equivale a ausência de corrente elétrica.

Na primeira linha da Tabela 22 temos o sistema desligado, ambas as entradas tem sinal “0”. Na segunda linha temos a alavanca desligada e o sensor de presença captando objeto estranho, de modo que o sinal da entrada a é “0” e o sinal da entrada b é “1”, a esteira não se move. Na terceira linha a alavanca está acionada (o sinal de entrada de a é “1”) e o sensor não detecta objetos estranhos (o sinal de entrada b é “0”). Como, nessa porta composta, a entrada b insere \bar{b} na porta and e $b = 0$, temos $\bar{b} = 1$, logo as duas entradas da porta and são iguais a “1”, daí $x = 1$ e a esteira se movimenta. Caso o sensor detecte um objeto estranho teremos $b = 1$, que implica $\bar{b} = 0$, de onde temos “1” e “0” na porta and, por fim temos $x = 0$ e a esteira é desativada.

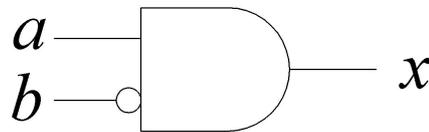


Figura 45 – **Porta Lógica a e não b** ($x = a \cdot \bar{b}$)

Fonte: Produzida pelo autor

a	b	x
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Tabela 22 – **Tabela Verdade:** ($x = a \cdot \bar{b}$)

Fonte: Produzida pelo autor

5 Proposta de Abordagem do ensino da Lógica Matemática na Educação Básica

5.1 Surgimento da ideia

O interesse pelo tema surge no período de 2019 a 2022, época em que o autor foi aluno do curso Técnico em Mecânica na unidade do SENAI: Faculdade De Tecnologia Ítalo Bologna, Goiânia-GO. Entre os componentes curriculares cursados, o que colaborou para o interesse pela proposta foi o de *Automação do Processo de Fabricação*.

Neste componente, o curso aproxima o aluno de diversos mecanismos utilizados na automação de processos industriais. Inicia-se com uma introdução à Lógica *Booleana* e histórico do desenvolvimento da indústria, desde a revolução industrial até a automatização da indústria. Depois disso foram exploradas, principalmente, duas perspectivas do processo de automação, em que podem ser esmiuçados conceitos de lógica, o uso de Contatores Eletromecânicos e o uso de Controladores Lógicos Programáveis no acionamento de máquinas elétricas, pneumáticas e hidráulicas.

5.1.1 Contatores Eletromecânicos

Os *Contatores Eletromecânicos* (veja: 3.3) funcionam a partir do princípio eletromagnético, onde uma corrente elétrica passa por uma bobina¹, gerando campo magnético. A este campo magnético gerado é exposto um material ferromagnético que por sua vez sofre influência do campo e se movimenta. O contator possui contatos internos que estão normalmente abertos² ou normalmente fechados³, podendo ocorrer contatos dos dois tipos em um mesmo contator. Quando o contator é acionado⁴, o movimento gerado pelo efeito eletromagnético, faz com que o estado dos contatos dentro do contator seja invertido, de modo a interromper a passagem de corrente elétrica no circuito que antes estava fechado e permitir a passagem de corrente elétrica naquele que antes estava aberto. Desta forma,

¹ Fio condutor enrolado na forma de inúmeras espiras sobrepostas.

² Contato normalmente aberto é aquele que, quando o contator está desligado, não permite passagem de corrente elétrica pelo circuito.

³ Contato normalmente fechado é aquele que, quando o contator está desligado, permite passagem de corrente elétrica pelo circuito.

⁴ Acionar o contator é permitir a passagem de corrente elétrica pela bobina, o que gera campo magnético, que por sua vez promove o deslocamento do mecanismo responsável por afastar os contatos normalmente fechados e aproximar os contatos normalmente abertos.

o acionamento do contator permite modificar o estado de passagem de corrente elétrica pelos contatos e assim controlar a corrente no circuito, para promover o acionamento de equipamentos ou outros contadores, que antes estavam desligados ou desligar equipamentos ou outros contadores que antes estavam ligados. Ao cessar o fluxo de elétrons na bobina do contator, o mecanismo volta ao seu estado original, por força de uma mola, voltando assim o estado original de ligação dos circuitos. O sistema de associação de contadores e temporizadores, constituem um “sistema lógico estabelecido”, onde o acionamento de um botão que energiza a bobina de um contator, promove a ativação de um sistema complexo de contadores, temporizadores e sistemas de segurança que acionam ou desligam vários equipamentos automaticamente conforme a montagem dos elementos que compõe o circuito lógico de contadores, visando atender as necessidades do processo de produção.

No Exemplo 5.1.1, temos uma configuração bastante simples do acionamento temporário de um equipamento por 5 segundos. Utilizou-se o programa *FluidSIM*⁵ para a elaboração do diagrama elétrico representado nas figuras 46, 47, 48 e 49.

Exemplo 5.1.1 (Uso de contator) *Neste exemplo serão utilizados contadores e temporizadores para acionar um equipamento por 5 segundos.*

No diagrama elétrico representado pela Figura 46, B representa o botão de acionamento manual, K1 representa a bobina de um contator, K1A e K1B são contatos normalmente abertos deste mesmo contator, T representa um temporizador programando com atraso de 5 segundos e seu contato normalmente fechado, e por último o círculo com x representa um equipamento elétrico qualquer que se deseje manter ligado por cinco segundos. Veja que na Figura 46 temos o estado original do circuito, não há passagem de corrente elétrica pelo sistema, logo nenhum equipamento está acionado.

A seguir, a Figura 47 representa o momento em que o botão B é pressionado, tal operação permite a energização da bobina K1, que por sua vez fecha os contatos K1A e K1B normalmente abertos, além disso, energização do sistema permite o acionamento do temporizador T. E ainda, o fechamento do contato K1B permite o acionamento do equipamento elétrico representado pelo círculo com x. Neste momento em que o temporizador é acionado, inicia-se a contagem de 5 segundos pré-programada.

A Figura 48 representa o sistema após o acionamento, por pressão manual, do botão. Note que, mesmo após cessada a pressão sobre o botão B e cortada a passagem de corrente elétrica por ele, o restante do sistema ainda permanece percorrido por corrente

⁵ Para saber mais sobre este programa, veja: 3.4.1

elétrica. Este fato se dá em função do selo elétrico⁶ proporcionado pelo fechamento do contato K1A, advindo da energização da bobina K1. Mesmo após cessada a energização pelo botão B, o contato K1A permite a energização de K1 em um circuito paralelo, de modo que a bobina K1 continua sendo energizada e, portanto, o contato K1A continua fechado.

Após finalizada a contagem de 5 segundos programada no temporizador T, a ativação de sua bobina implica a abertura de seu contato (T), normalmente fechado, entre o circuito paralelo B1 / K1A e a bobina K1, de modo a cortar a passagem de corrente elétrica para a bobina do contator K1, fazendo com que o mesmo volte ao seu estado original, no qual o contato K1A é aberto e desativa a retroalimentação que fazia com que a bobina K1 permanecesse acionada. O contato K1B é aberto implicando no desligamento do equipamento (Figura 49). Neste momento cessa-se também a energização do temporizador T o que faz com que o contato T do temporizador volte ao seu estado original, fechado, porém tanto B1 quanto K1A estão abertos, o que impede a continuidade da corrente elétrica e o sistema volta completamente ao estado original (Figura 46).

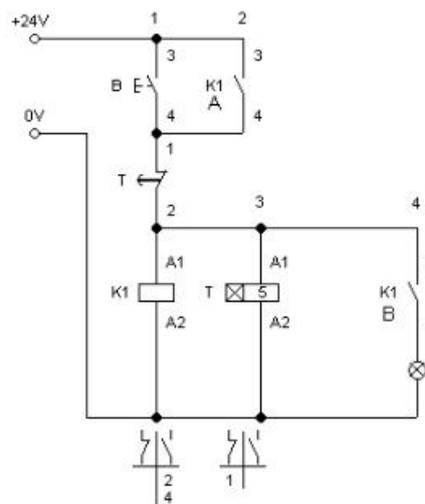


Figura 46 – Estado original do circuito

Fonte: Produzida pelo autor

⁶ Selo Elétrico é o nome dado em campo ao circuito que permite uma retroalimentação da bobina do contator e conseqüentemente sua energização mesmo sem a pressão do botão, a partir do acionamento de um contato normalmente aberto do próprio contator.

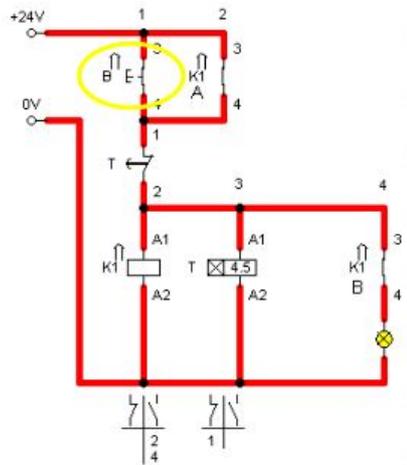


Figura 47 – Quando o botão B é pressionado
 Fonte: Produzida pelo autor

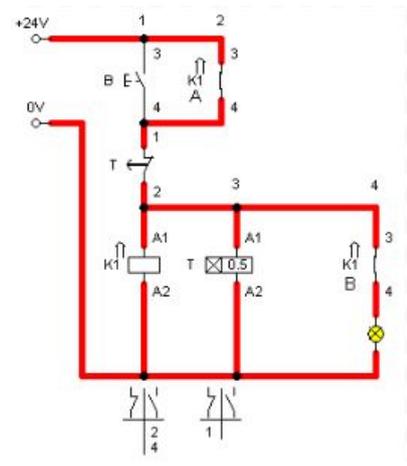


Figura 48 – O botão B deixa de ser pressionado
 Fonte: Produzida pelo autor

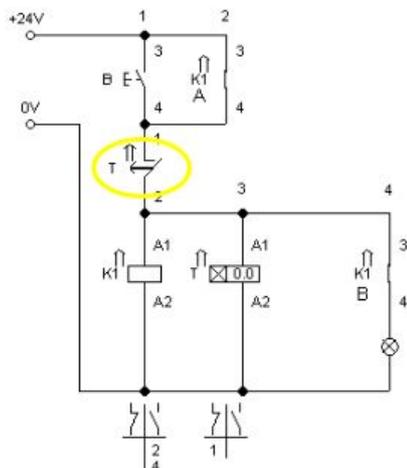


Figura 49 – O contato T1 é aberto
 Fonte: Produzida pelo autor

Note que a ativação do mecanismo está estreitamente ligada aos conectivos lógicos de conjunção, disjunção e negação. A ativação do contator K1 só se dá se tivermos corrente em B ou em K1A, simultaneamente à não abertura do contato normalmente fechado do temporizador T, assim vale a fórmula lógica: $(B \vee K1A) \wedge \neg T \rightarrow K1$. A ativação da lâmpada ocorre com o fechamento do contator K1B, que depende do acionamento da bobina do contator, de modo que vale a fórmula: $K1 \rightarrow K1B$.

O diagrama explorado neste exemplo é uma das aplicações mais simples abordadas pelo uso dos contadores em sistemas de automação industrial, mesmo assim traz uma reflexão acerca da aplicação de conceitos lógicos. Podendo, tal reflexão, ser reproduzida em diversas outras aplicações concretas dos mesmos componentes industriais, com os mais diversos graus de complexidade. Esta percepção foi fator fundamental para a construção da proposta deste trabalho.

Além da aplicação dos conceitos lógicos mencionados, outro fator que favoreceu o interesse do autor foi a possibilidade da exploração da interação de conhecimentos de outras áreas. O componente, contator eletromecânico, funciona a partir da geração de campo magnético oriunda da presença de corrente elétrica em uma bobina, neste aspecto, exploramos a discussão sobre eletromagnetismo, fenômeno físico a partir do qual o contator funciona. As ampliações futuras da proposta podem ainda explorar a relação com outros conhecimentos nos aspectos relacionados a força elástica, presente no retorno por mola dos contatos após o desligamento do contator; força resultante, ao serem comparadas as forças elástica e magnética verificamos que durante o funcionamento do contator, a força magnética deve ter módulo superior ao da força elástica, para e a força resultante seja no sentido da força elétrica e promova o acionamento do componente; além, é claro, dos temas: corrente elétrica, transformações energéticas e movimento circular uniforme, que podem ser abordados na análise do funcionamento dos circuitos elétricos, que permitem o acionamento de equipamentos como motores, nos quais a energia elétrica é transformada em energia cinética; ou o acionamento de lâmpadas, nas quais há transformação de energia elétrica em energia luminosa; ou o acionamento de resistores, onde a energia elétrica é transformada em energia térmica (Efeito Joule⁷). No caso dos motores elétricos podemos, ainda, discutir conceitos de período (tempo necessário para que se complete um ciclo no movimento) e frequência (número de ciclos verificados em um intervalo de tempo estabelecido) presentes no movimento circular uniforme, relacionando-os com a frequência padrão das oscilações da corrente elétrica alternada⁸. Todos estes temas estão presentes

⁷ Efeito elétrico a partir do qual se obtém energia térmica.

⁸ Corrente alternada é a corrente elétrica típica das tomadas residenciais, onde um dos polos é o Neutro

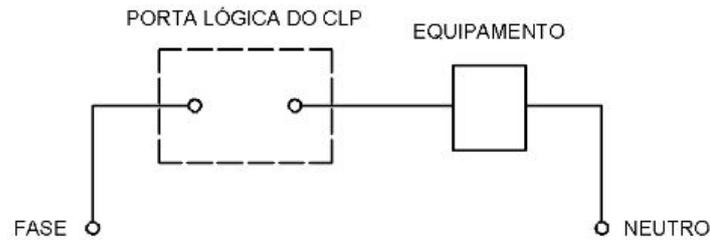
na Física da educação Básica.

Outro equipamento apresentado aos alunos do referido curso, que também merece destaque, é o Inversor de Frequência. Consiste em um aparelho eletrônico, cuja programação pode ser feita seguindo-se o manual técnico do fabricante. Surge como uma alternativa ao uso de contatores para o acionamento de motores elétricos. Aplicando este equipamento é possível o acionamento de motores trifásicos a partir de uma tomada monofásica adequadamente dimensionada. Além disso, o ponto mais relevante é que este equipamento é capaz, por meios eletrônicos, de modificar a frequência de oscilação da corrente elétrica fornecida ao motor, o que possibilita controlar sua velocidade. Sem o inversor, a frequência de funcionamento do motor é fixa, e está relacionada aos 60Hz padrão da rede elétrica nacional. O Inversor de Frequência, recebe a corrente elétrica na frequência padrão de 60Hz e oferece ao motor uma frequência diferente, programável pelo operador. Nos equipamentos estudados em campo, foi verificado que esta frequência de saída pode variar de 0 a 200Hz conforme a programação realizada pelo operador.

5.1.2 CLP e a linguagem de programação *Ladder*

Os *Controladores Lógicos Programáveis (CLP)* (Veja mais em: F.3.1) são computadores industriais robustos que funcionam a partir de princípios da Lógica *Booleana*. Neles, o programador tem à sua disposição, portas para conexão dos componentes industriais que serão acionados, ou conexão de contatores de grande porte para o caso de equipamentos que funcionam a tensões e correntes muito elevadas, superiores àquelas suportadas pelo *CLP*. Nestes casos o contator é usado somente para ligar e desligar o equipamento, o arranjo lógico do sistema é programado no *CLP*. Assim como ocorre com os contatores, um dos polos do equipamento permanece ligado diretamente à rede (normalmente o neutro ou o de potencial negativo), enquanto o outro polo (fase ou positivo) está ligado a uma das portas do *CLP*, que controla a conexão do dispositivo a ser ligado com a rede (Figura 50).

(apresenta potencial elétrico nulo) e o outro é a Fase (apresenta potencial que oscila entre positivo e negativo) a uma frequência de 60Hz, no Brasil. Na rede goiana o potencial da fase varia entre + 220V e - 220V 60 vezes a cada segundo.

Figura 50 – Porta do *CLP*

Fonte: Produzida pelo autor

Ambos, Contator Eletromecânico e *CLP*, possuem pares de terminais formando contatos, de modo que cada contato funciona como um interruptor, que pode estar fechado ou aberto. Em um terminal conecta-se o contato à alimentação elétrica e no outro conecta-se o polo do equipamento. A principal diferença entre os dois mecanismos é que o contator possui contatos (ou *interruptores*) mecânicos definidos, ou normalmente abertos ou normalmente fechados, que invertem seu estado a partir da energização da bobina. Já no *CLP* as ações de cada contato podem ser programadas, através da linguagem de programação *Ladder* (veja mais em: F.3.1), como o operador desejar, inclusive com tempos de retardo da operação programáveis, o que dispensa o uso de temporizadores. Aqui, temos as ações de um grande painel com muitos temporizadores, contadores, e outros componentes necessários ao funcionamento de uma máquina, aglomeradas em um pequeno equipamento eletrônico programável, cuja interface se dá através de programas de computador que podem ser instalados em *desktops* ou *notebooks* convencionais de acordo com o fabricante do *CLP*.

Vejamos como seria a programação do processo mecânico representado no Exemplo 5.1.1 se fosse usado *CLP*, ao invés do uso de contator e do temporizador. Existem vários programas de computador que podem ser utilizados para programar um *CLP*, cuja escolha depende da marca do aparelho, já que a programação elaborada deve ser descarregada no *CLP* e lida por ele, logo deve haver uma compatibilidade entre o programa utilizado e o *CLP*. Neste exemplo vamos utilizar o simulador *CADeSIMU* (Veja mais em: 3.4.2) para simular a programação do acionamento de um equipamento por 5 segundos.

Exemplo 5.1.2 (Uso de *CLP*) Neste exemplo será utilizado um *CLP* para acionar um equipamento por 5 segundos.

Na Figura 51 temos, à esquerda, a representação de um *CLP* da marca *SIEMENS* com o diagrama elétrico, contendo o botão *S1* que aciona o sistema e o equipamento *H* que

será acionado pelo CLP. Este diagrama orienta a conexão dos fios elétricos, dos botões e dos equipamentos a serem acionados; elementos físicos externos ao CLP. À direita temos a representação da programação Ladder, que é descarregada no CLP e orienta seu funcionamento. Nela, I1 representa a entrada I1 do CLP. T1 representa um módulo lógico que alterna o estado do circuito que passa por ele (ligado/desligado) após um tempo determinado, neste caso 5 segundos. M1 tem, na programação Ladder, a mesma função que um contator possui em uma montagem eletromecânica comum; a função de alternar o estado de seus contatos (fechado/aberto) enquanto está acionado. M1A e M1B representam contatos abertos acionados por M1. Q1 representa a saída Q1 do CLP.

Como o botão está conectado à entrada I1 e o equipamento está conectado à saída Q1, temos que o acionamento do botão ativa a entrada I1 que aciona a programação do CLP e, por sua vez, orienta o acionamento de Q1 que permitirá o funcionamento do equipamento.

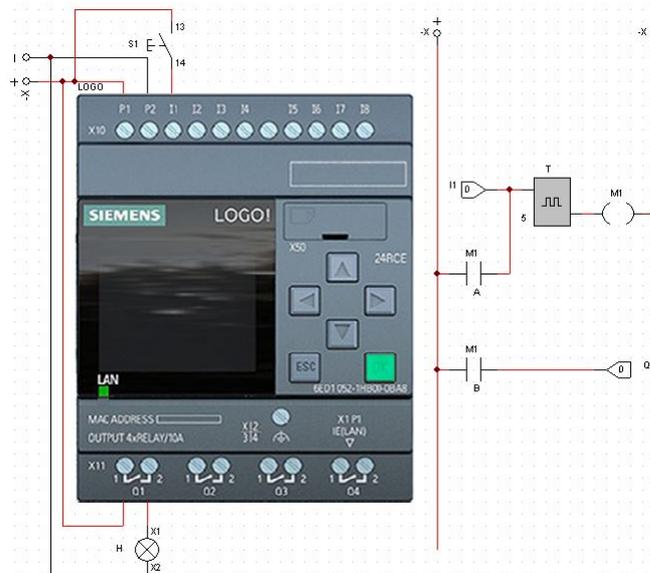


Figura 51 – Diagrama Elétrico e Diagrama Lógico do sistema, antes do acionamento do botão

Fonte: Produzida pelo autor

Após o acionamento do botão S1, a entrada I1 do CLP é energizada e o programa começa a funcionar, neste caso, temos o acionamento de T e M1 que por sua vez “fecha” os contatos M1A (que permite a continuidade da ligação de T e M1 mesmo após cessada a pressão sobre o botão S1) e M1B que aciona a porta Q1 do CLP. O acionamento de Q1 permite o funcionamento do equipamento. Observe a Figura 52

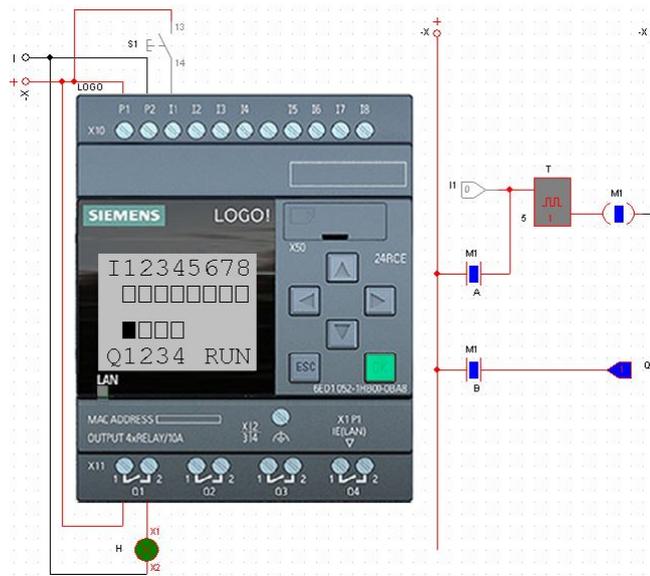


Figura 52 – Diagrama Elétrico e Diagrama Lógico do sistema, logo após o acionamento do botão

Fonte: Produzida pelo autor

Contados os 5 segundos, T1 alterna o estado do circuito que passa por ele (de fechado para aberto), desligando M1, que por sua vez “abre os contatos” M1B (desconectando Q1 e desligando o equipamento H) e M1A (mantendo T1 e M1 desligados até novo acionamento do botão S1). Assim o sistema volta ao estado visto na Figura 51.

Mas uma vez podem ser verificados os conectivos lógicos de negação, disjunção e conjunção. Note que valem as fórmulas lógicas: $S1 \rightarrow I1$, $(I1 \vee M1A) \wedge \neg T \rightarrow M1$ e $M1 \rightarrow Q1$.

5.2 Justificativa

Esta proposta surge com base na importância da aplicação de conceitos de lógica na manutenção do modo de vida contemporâneo por meio da evolução da indústria possibilitado pelo avanço tecnológico, o que evidencia a relevância da abordagem deste tema na Educação Básica. Além da Matemática possuir estreita relação com a tecnologia e a engenharia, abordar a Lógica Formal no ensino é essencial pois esta figura como base da construção dos sistemas axiomáticos, pedra fundamental da matemática.

A aplicação dos conceitos de Lógica é fundamental na programação e na automação industrial, estando presente desde seus primórdios. Existe uma estreita ligação entre os computadores e a automação de processos industriais. Os primeiros computadores, os

eletromecânicos, utilizavam uma associação de relés que poderiam estar acionados ou não formando um código lógico, assim como os processos de automação mais simples utilizam relés e contadores para acionar e desligar componentes de uma máquina. Com a evolução da tecnologia os computadores eletrônicos substituíram a utilização de relés por microprocessadores com uma capacidade extremamente superior e computadores eletrônicos industriais robustos passaram a ser utilizados para controlar processos industriais com muito mais eficiência. Com esta evolução intensa e constante a linguagem computacional vem se tornando cada vez mais complexa e distante da linguagem de máquina e mais próxima da linguagem convencional, entretanto a atividade de programação permanece dependente de uma sequência lógica de comandos que respeite um conjunto de regras lógicas. Sua aplicação no modo de vida contemporâneo é facilmente evidenciada quando se utiliza qualquer objeto produzido pela indústria ou qualquer equipamento eletrônico. E na programação destes dispositivos e processos é feita com base na Lógica *Booleana*, verificada “não só no processamento automático de dados (computação), como também na automatização da produção industrial” (DAGHLIAN, 1995, p.18).

Dada a importância dos recursos advindos do avanço tecnológico para a evolução do modo de vida da sociedade e dada a importância da Lógica nessa evolução, desde os seus fundamentos, consideramos justificável estudar a abordagem da Lógica na Educação Básica e mais ainda, abordar o estudo da Lógica aplicado em situações relacionadas à tecnologia. Ainda que a importância do tema seja evidente, este veio aparecer de forma mais enfática nos documentos curriculares somente após a nova *BNCC*.

Souza (2015), assim como os outros autores utilizados neste trabalho, argumentam em favor do estudo da Lógica.

Uma das razões para se estudar Lógica é que ela nos confere a capacidade de análise crítica dos argumentos mentais utilizados na organização das ideias e dos processos criativos. Ao estudar Lógica, o indivíduo toma consciência dos elementos fundamentais à capacidade de argumentar e expor suas ideias. Obtendo essa habilidade, essa consciência, esse metaconhecimento, o indivíduo se torna mais capaz na racionalização e organização de suas ideias (SOUZA, 2015, p. iii).

Definido um tema a ser abordado, surge um desafio comum no âmbito escolar: Como tornar o assunto interessante para o estudante?

Atualmente é comum os estudantes apresentarem um desinteresse em atividades tradicionais de sala de aula. Com essa problemática, ocorre a redução do envolvimento para a realização das mesmas e do interesse dos professores em estudar e procurar por novas metodologias que despertem o interesse dos educandos (BOBSIN et al., 2020, p. 1473).

Dessa forma, faz-se necessário que a pesquisa estude os melhores meios de garantir o interesse do aluno pelo tema. Relação entre conhecimentos de outras áreas e contextualização têm sido amplamente empregados nessa busca. Com isso buscamos justificar a busca da proposta em associar a aplicação da Lógica na ativação de equipamentos eletromecânicos que funcionam com base nos princípios do eletromagnetismo estudado na Física; e também seu aspecto contextual já que a aplicação prática do conceito é um caráter central da proposta.

Na experiência no curso técnico, a realização de atividades práticas em campo, bem como a utilização de ambientes simulados em computador, demonstrou maior poder de interação e engajamento dos alunos, o que vem ao encontro de resultados dos trabalhos análogos. Destas constatações, partimos para a exploração dos aspectos prático e aplicável de nossa proposta, como forma de integrar o aluno ao processo e de ampliar a discussão do tema.

De posse de tantos recursos computacionais dotados de linguagem lógica complexa, a utilização de relés para acionamento de equipamentos elementares pode parecer uma maneira simplória de aplicar a Lógica no contexto tecnológico, porém este modelo é comumente empregado no acionamento de máquinas na indústria e em diversos equipamentos de uso cotidiano. E por mais sofisticados que possam ser os computadores e demais processos eletrônicos, um de seus princípios fundamentais ainda é o sistema binário, análogo ao ligar e desligar de relés para abrir e fechar contatos, que pode ser ilustrado de maneira concreta e simplificada por meio de associações de relés ou interruptores.

5.3 Produtos

Esta dissertação oferece dois produtos didáticos correlacionados: a sequência didática disponível no Apêndice A e o manual de um painel de componentes eletrônicos montado em placa *protoboard* disponibilizado no Apêndice E. A sequência didática traz uma simulação do painel, possibilitando a realização de testes dos circuitos planejados e a utilização simulada do painel em sala de aula, nos casos em que a construção concreta do mesmo não seja viável. Por sua vez, o manual traz orientações sobre a montagem e o uso do painel concreto e também poderá ser utilizado para complementar os conhecimentos dos alunos e professor que implementarem a sequência didática, quanto à realização das simulações propostas pela sequência com o auxílio do painel simulado.

5.3.1 Sequência Didática

A pesquisa buscou a produção de um texto autocontido e didático, com o objetivo de subsidiar a fundamentação do professor sobre os temas abordados na sequência didática, de modo que a proposta possa ser aplicada por qualquer docente que assim o desejar, mesmo não sendo familiarizado com o tema.

Para enriquecimento de sua fundamentação sobre os temas tratados, o professor tem à sua disposição a Seção 3.2 e o Apêndice F da dissertação, que trazem conceitos relacionados à automação industrial e aos componentes elétricos e eletrônicos cujos conceitos são apresentados na sequência didática; o Capítulo 4 e o Apêndice G, que trazem um panorama geral da Lógica Proposicional e da Lógica *Booleana*; o item A.5.3, que traz informações sobre os componentes eletrônicos que serão utilizados; e os anexos: Anexo A, que mostra como identificar a resistência de um resistor por meio das cores que o componente apresenta; Anexo C que traz a simbologia de alguns componente elétricos apresentados nos vídeos e simulações disponibilizados pela proposta; e o Apêndice E que ajuda na compreensão do painel montado em placa *protoboard* presente em muitas das simulações disponibilizadas.

A sequência didática busca detalhar o conteúdo a ser trabalhado em cada aula, no próprio texto da sequência ou direcionar o professor para as fontes de orientação disponibilizadas ao longo da dissertação, seus apêndices e anexos.

Os apêndices B, C e D complementam a sequência didática. Os dois primeiros trazem atividades propostas para as aulas A.4 e A.5, respectivamente. O terceiro oferece uma proposta de avaliação do processo, que pode ser utilizado ao final de cada aula e ao final da sequência, ficando a cargo do professor dar a ênfase adequada a cada um destes momentos avaliativos.

5.3.1.1 Avaliação

Esta sequência didática, trata-se de uma proposta que ainda não foi implementada. Ao longo de sua implementação podem surgir ajustes de formato da aula oferecida, de tempo disponível para cada momento da aula, de metodologia, de conteúdo aplicado ou de outra natureza. Nestes casos, a contribuição do aplicador da proposta e dos alunos é muito bem vinda ao projeto.

O processo avaliativo proposto busca o acolhimento do estudante, como orienta Luckesi (2005). Deseja-se, que a avaliação da aula seja realizada em conjunto pelo professor

e pelos alunos e seja realizada de modo que possa expressar, da melhor forma possível, o quanto dos objetivos foi alcançado e a relevância do alcance destes objetivos para a construção da formação do estudante. Espera-se ainda, que o processo avaliativo revele os pontos em que o projeto pode melhorar nos aspectos relativos à participação e trabalho em equipe dos alunos, à mediação conduzida pelo professor, à metodologia proposta e ao conteúdo trazido em si. Conforme o autor,

avaliar é um ato pelo qual, através de uma disposição acolhedora, constatamos e qualificamos alguma coisa (objeto, ação ou pessoa), tendo em vista, de alguma forma, tomar uma decisão sobre ela; no caso de pessoas, junto com elas (LUCKESI, 2005, p.47).

5.3.1.2 Como o material foi produzido

Para abordar a Lógica *Booleana* utilizando componentes eletrônicos, a sequencia didática oferecida explora as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (*TDICs*), por meio de vídeos disponibilizados no *YouTube*, por meio de simuladores eletrônicos utilizados para produção do material e também nos momentos de prática, por meio de aplicativo *Web*, onde os alunos realizarão simulações.

Quanto aos vídeos, foram utilizados dois disponíveis no canal do *YouTube Manual do Mundo* e uma série de vídeos originais produzida pelo autor e disponibilizada na mesma plataforma, elaborados especificamente para a proposta.

Para a produção dos vídeos disponibilizados pelo autor foram utilizados: o aplicativo *Tinkercad*⁹, para produção de simulações dos circuitos representados por ilustrações dos componentes eletrônicos; o *software* de simulação *FluidSIM*¹⁰, para produção de simulações dos circuitos representados por diagramas; os programas de computador *Sketchup* e *Powerpoint*, para produção de animações 3D; e o aplicativo *Clipchamp*, para edição dos vídeos e adição de áudios explicativos.

Para a produção das simulações de circuitos foi escolhido o aplicativo *Tinkercad*. Os motivos para essa escolha são: o aplicativo ser um programa de acesso gratuito e simplificado, dispor dos componentes necessários à aplicação da proposta e apresentar estes componentes de forma ilustrativa e assim aproximar a experiência simulada na experiência real.

⁹ Para saber mais sobre o aplicativo *Tinkercad* consulte o item 3.4.4 da dissertação.

¹⁰ Para saber mais sobre o *software FluidSIM* consulte o item 3.4.1 da dissertação.

5.3.1.3 Como o material é oferecido

A sequência propõe uma abordagem que integra o uso das *TDICs*, textos complementares, atividades práticas e a mediação do processo de ensino-aprendizagem conduzida pelo professor. Sugere-se que seja oferecida no formato de oficinas a serem trabalhadas em contra-turno ou outro momento destinado a atividades extracurriculares.

A **Oficina A.1** tem os objetivos:

- Entender o propósito da sequência didática.
- Entender o princípio pelo qual podemos converter energia elétrica em mecânica e mecânica em elétrica.

Para isso, realiza-se uma discussão sobre a evolução da indústria e dos processos de automação presentes no cotidiano e sobre os princípios lógicos presentes no acionamento de máquinas elétricas. Fará uso de leitura e interpretação de texto em grupo, fará uso do vídeo “Motor V8 eletromagnético” do canal *Manual do Mundo*, do vídeo “Funcionamento de um solenoide” produzidos pelo autor e da simulação “Lei de *Faraday*” disponível na página *PhET Colorado*.

A **Oficina A.2** tem os objetivos:

- Entender o que é, como funciona e para que serve um relé.
- Entender como os relés estão relacionados com a Lógica *Booleana*.
- Entender como funcionavam os computadores eletromecânicos.

Para isso, utilizará o vídeo “Funcionamento de um relé” produzido pelo autor, o vídeo “A revolução elétrica” do *Manual do Mundo*, que mostra como funcionavam os computadores eletromecânicos e introduz conceitos lógicos e sua relação com fechar e abrir contatos de interruptores e com uso de relés. Por fim, é reservado um tempo nessa aula para o vídeo “Como se cadastrar e como usar o *Tinkercad*” produzido pelo autor, para orientar os alunos quanto à inscrição no aplicativo que irão utilizar nas simulações que serão propostas nas aulas seguintes.

A **Oficina A.3** tem o objetivo:

- Entender a relação entre os conectivos lógicos e o acionamento de equipamentos elétricos por interruptores.

Para isso, utiliza o vídeo: “Interruptores em paralelo e interruptores em série, conectivos lógicos *or* e *and*” produzido pelo autor, para relacionar os arranjos de interruptores aos conectivos lógicos. Também, disponibiliza o *link* da simulação interativa do circuito, onde o aluno pode simular a manipulação dos interruptores e observar os resultados.

Em seguida mostra-se como utilizar um relé em um circuito com o vídeo “**Usando o relé**” produzido pelo autor. E disponibiliza-se o *link* para a simulação da manipulação do circuito.

Uma vez conhecidas as propriedades do relé, o mesmo é utilizado para relacionar circuitos elétricos ao conectivo lógico *not* com uso do vídeo “Contato normalmente fechado do relé e o conectivo lógico *not*” produzido pelo autor. O estudante poderá simular o circuito por si mesmo e observar os resultados utilizando o *link* disponibilizado.

A **Oficina A.4** tem os objetivos:

- Entender como utilizar um relé para manter um dispositivo elétrico ligado após a pressão de um botão e como desliga-lo com a pressão de outro botão.
- Entender como funcionam as Portas Lógicas básicas *not*, *and*, *or*, construídas com o uso de relés e interruptores.

Para isso, mostra aplicações dos circuitos elaborados com associação de relés, nos vídeos “Haste que gira” e “Simulando o circuito de um semáforo” produzidos pelo autor. E mostra como construir e como romper um selo elétrico de um relé, por meio dos vídeos “Selo elétrico” e “Desligando um selo elétrico” produzidos pelo autor. E ainda traz as simulações dos dois últimos para os alunos experimentarem, por meio de *link*.

Em seguida promove uma discussão sobre a simbologia e representação escrita das Portas Lógicas mais básicas: *not*, *and* e *or*. E traz o *link* da simulação de circuitos montados

com relés, botões e lâmpadas para ilustração das Portas Lógicas. E então propõe uma atividade de identificação da porta lógica que equivale a cada circuito e de preenchimento da tabela verdade de cada porta lógica, para ser feita com as informações obtidas na simulação.

A **Oficina A.5** tem os objetivos:

- Conhecer as Portas Lógicas derivadas, *nand*, *nor*, *xor*.
- Conhecer alguns componentes eletrônicos e suas funções.

Para isso, a aula se inicia com uma discussão sobre a simbologia e representação escrita das Portas Lógicas derivadas: *nand*, *nor* e *xor*. Também, traz o *link* da simulação de circuitos montados com relés, botões e lâmpadas para ilustração das Portas Lógicas. E então propõe uma atividade de identificação da porta lógica que equivale a cada circuito e de preenchimento da tabela verdade de cada porta lógica, para ser feita com as informações obtidas na simulação.

Na sequência traz ilustrações e informações a respeito e alguns componentes eletrônicos para serem discutidas em sala, tais como circuitos integrados e resistores, além de algumas simulações da utilização destes componentes em circuitos eletrônicos.

A **Oficina A.6** tem os objetivos:

- Entender como os Circuitos Integrados de Portas Lógicas funcionam.
- Entender como utilizar a *protoboard* para elaborar projetos de circuitos eletrônicos.

Para isso, são apresentados os Circuitos Integrados que simulam Portas Lógicas. Depois disso é disponibilizado um *link* por meio do qual o aluno pode simular as Portas Lógicas estudadas, dessa vez utilizando circuitos integrados.

Na sequência é trazido o vídeo “Simulação de uma *protoboard*” produzido pelo autor, onde o aluno aprenderá a utilizar a placa *protoboard* na construção dos circuitos. Em seguida o aluno pode experimentar diferentes simulações.

A **Oficina A.7** Têm os objetivos:

- Construir circuitos eletrônicos utilizando a *protoboard*
- Visualizar frases lógicas com o auxílio de circuitos criados no painel *protoboard*.

Para isso, a aula estimula os alunos a construírem circuitos que envolvem o acendimento e desligamento de *LED* e motores utilizando a *protoboard*, com projetos em nível de dificuldade gradativo.

Em seguida, propõe-se a construção de um circuito que representa uma frase lógica para simulação, análise dos resultados e preenchimento da tabela verdade relativa àquela frase lógica.

Em todos os circuitos propostos, há um modelo para comparação após a finalização do circuito construído pelo aluno.

Em todas as aulas é reservado um momento inicial destinado a acolhida dos alunos e um momento final destinado à avaliação da aula.

5.3.1.4 Requisitos para implementação da sequência didática

Para realização das atividades propostas é necessário que os alunos utilizem computadores com acesso à internet. Recomendamos que o Apêndice A seja disponibilizado nos computadores dos alunos, para facilitar o acesso ao *link* de cada conteúdo oferecido e que os apêndices B, C e o item A.7.4.3 sejam disponibilizados impressos ou em formato editável para realização das atividades propostas.

A atividade foi pensada para alunos dos anos finais da segunda fase do Ensino Fundamental e alunos do Ensino Médio, por envolver conceitos de eletrônica relacionados à disciplina Física, que só aparece no currículo a partir do final do Ensino Fundamental fase 2. No entanto, o professor que interpretar que as habilidades de seus alunos são compatíveis com a proposta, pode ampliar o projeto para séries anteriores.

Esta proposta prevê o uso de uma versão virtual do painel descrito no Apêndice E, caso a versão concreta do painel venha a ser montada, o usuário deve estar atento às recomendações de segurança previstas no manual.

5.3.2 Manual Técnico

No componente *Sistemas de Automação Mecânica* cursado pelo autor, foram vistos, entre outros conteúdos, o acionamento eletromecânico por contatores industriais. Para efeito didático, as atividades práticas envolvendo contatores foram realizadas com o auxílio dos painéis de instrumentos e componentes eletromecânicos ilustrados nas Figuras 53 e 54.

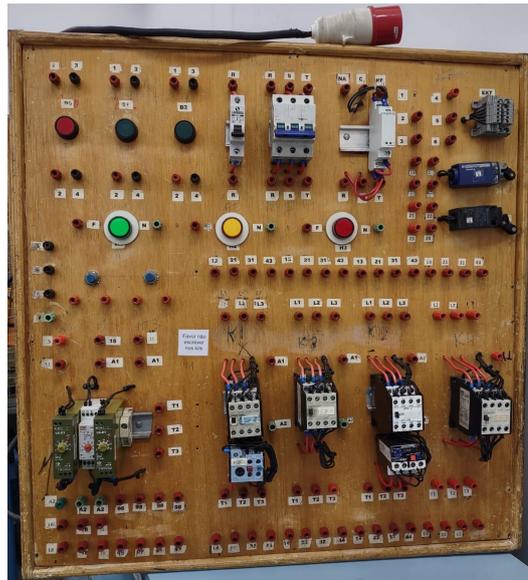


Figura 53 – Painel de componentes
Fonte: foto feita pelo autor

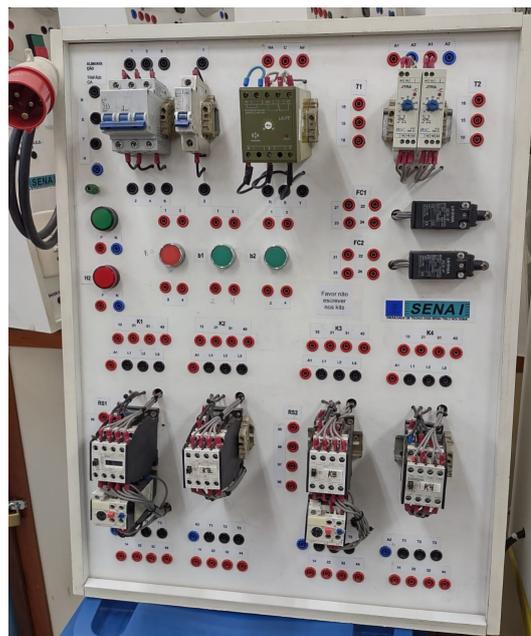


Figura 54 – Painel de componentes
Fonte: foto feita pelo autor

Nestes painéis são dispostos contatores, temporizadores, relés de segurança, sensores, lâmpadas de alerta, botoeiras, entre outros.

Com esta disposição dos componentes em um painel móvel, o circuito elétrico pode ser montado e desmontado de diferentes formas para diferentes exemplos de acionamento de equipamentos. A experiência com a utilização deste recurso didático, como discente, deu origem à proposta do painel descrito pelo manual que formulamos.

Entre as adaptações, foram modificadas a tensão, o tipo e o porte dos componentes. No painel originador da ideia, a tensão é trifásica de 380V, os componentes de acionamento são contatores tripolares e os equipamentos a serem acionados são, na maioria, de grande porte e ficam separados do painel e podem ser permutados conformes o tipo de equipamentos industrial cujo acionamento seja objeto de estudo.

O nosso, pode ser ligado em tomadas convencionais, mas a tensão é reduzida para os componentes do painel para tensões típicas de celulares e computadores, favorecendo a segurança dos processos e do usuário. Além disso, os equipamentos acionadores deixam de ser contatores industriais robustos para serem pequenos relés, circuitos integrados, botões e interruptores. Além disso, os equipamentos a serem acionados são de pequeno porte, como mini motores e *LED*. Diferente do painel do estudo de caso, os componentes acionados virão instalados no próprio painel, que será montado em uma placa *protoboard*, em vez de ser montado em uma plataforma pré fabricada especificamente para o painel, como ocorre no painel utilizado como referência.

5.3.2.1 Evolução da ideia

Na ideia inicial, o projeto era de um painel maior, montado em uma plataforma pré-fabricada especificamente para o projeto. E, assim como ocorre no painel do estudo de caso, as conexões com os dispositivos montados seria feita com bornes¹¹ e conectores banana¹² e o projeto não vislumbrava a possibilidade de simulação virtual dos circuitos didáticos propostos. O projeto era mais complexo, caro e não estava vinculado à uma sequência didática. A elevação do preço vinha em grande parte do custo dos bornes e dos conectores banana, além da quantidade maior de componentes e da necessidade de fabricação de peças.

No decorrer da pesquisa, a descoberta do aplicativo *Tinkercad* contribuiu para a

¹¹ Conector “fêmea” instalado no painel, ligado permanentemente ao dispositivo fixado no painel.

¹² Conector “macho” utilizado para ligar um borne a outro nas construções de circuitos elétricos. Permite conexão e desconexão rápida, fácil e estável, daí a vantagem de sua utilização em circuitos didáticos, que são montados e desmontados muitas vezes.

evolução da intenção original da proposta, possibilitando a simulação virtual do projeto atrelada a uma sequência didática que poderá ser realizada com a simulação virtual, nos casos em que a montagem física do painel não for viável. Além disso, o desenvolvimento das simulações para a sequência didática juntamente com as descobertas acerca das possibilidades do aplicativo, colaboraram com as pesquisas sobre os componentes a serem utilizados no painel e com a evolução do projeto original. Ao invés de construir uma placa com cabos banana e bornes, passamos a prever a utilização de placas *protoboard* que facilitam a implementação do projeto, por estarem disponíveis no mercado, sem a necessidade de fabricação por encomenda. Estas também reduzem os custos com cabos, conectores e bornes, uma vez que os conectores para placa de ensaio *protoboard* possuem custo menor e não há a necessidade de utilização de bornes, já que os furos da placa cumprem sua função. Durante o desenvolvimento da proposta também foram incrementadas ao projeto a utilização de circuitos integrados e outros componentes eletrônicos disponíveis no aplicativo para simulação.

No decorrer da pesquisa e da produção da sequência didática, percebeu-se que, na ideia inicial, o painel e seu uso eram muito complexos e as expectativas dessa ideia com relação ao acionamento eletromecânico excediam a aplicação desejada. A mudança do projeto tornou-o mais simples de ser montado, menos voltado ao acionamento elétrico e mais voltado ao projeto de circuitos eletrônicos. O que possibilitou uma melhor exploração dos conceitos de Lógica que a proposta pretende abordar e também a exploração de conceitos de eletrônica que não era previstos na proposta inicial, mas passaram a compor o escopo da proposta no decorrer do amadurecimento da pesquisa. A modificação da ideia inicial também permitiu a elaboração do painel virtual para teste e para ser usado na sequência didática.

A versão inicial do projeto do painel é mostrada nas Figuras 55 e 56. A versão final oferecida está representada nas Figuras 57 e 58.

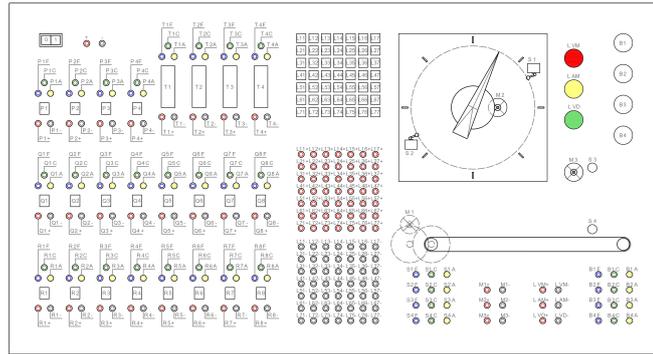


Figura 55 – Desenho técnico do painel - ideia inicial
Fonte: Produzida pelo autor

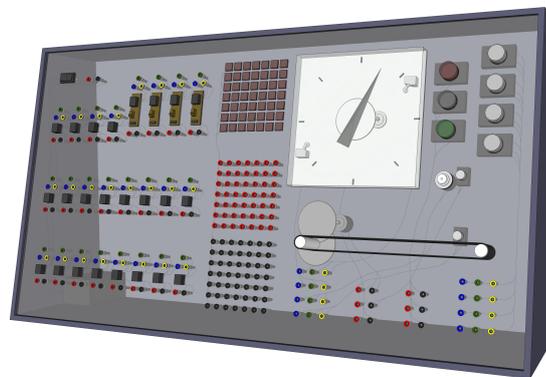


Figura 56 – Ilustração do painel - ideia inicial
Fonte: Produzida pelo autor

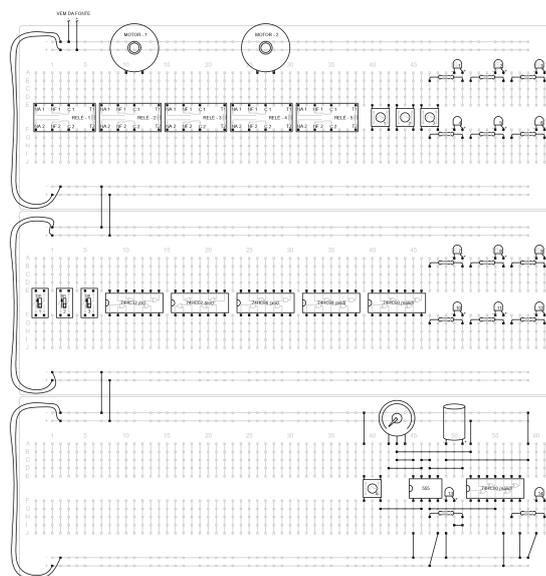


Figura 57 – Desenho técnico do painel - versão final
Fonte: Produzida pelo autor

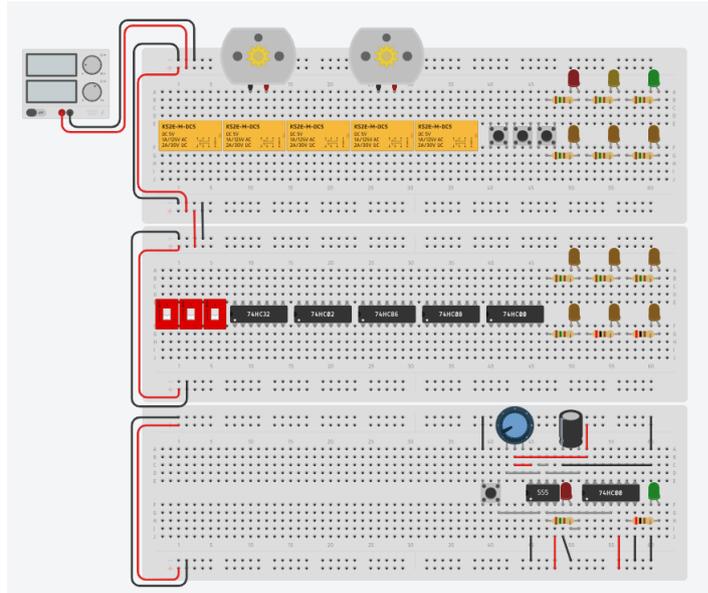


Figura 58 – Ilustração do painel - versão final

Fonte: Produzida pelo autor

As Figuras 92, 93 e 94 disponíveis no item E.2.7 detalham o projeto representado na Figura 57.

A versão final do painel, oferecida pelo manual e utilizada na sequência didática está disponível para construções de circuitos e simulações, no *Tinkercad* por meio do *link*: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painel?sharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

5.3.2.2 Protoboard - Painel

Vamos ao produto oferecido, trata-se de um manual de montagem e uso de um painel de dispositivos eletrônicos para ensino de conceitos de Lógica por meio do acionamento de motores e *LED* com botões e interruptores.

A proposta conta com um vídeo explicativo de como a placa *protoboard* funciona e com simulações realizadas em um protótipo virtual criado no aplicativo *Tinkercad*. E chama a atenção do usuário para os riscos elétricos envolvidos no uso do equipamento, orientando que sua utilização seja acompanhada de adulto responsável.

Conforme o manual produzido, disponível no Apêndice E, o painel é dividido em três unidades de placas *protoboard*.

A unidade 01 conta com relés, botões, motores e *LED* para ensaios de acionamento com relés e construção de circuitos contendo selo e intertravamento elétrico entre os relés,

onde se pode estudar os conectivos lógicos de negação, conjunção e disjunção.

A unidade 02 contém Circuitos Integrados de Portas Lógicas, interruptores e *LED*, podendo ser utilizada para construção de frases lógicas utilizando as Portas Lógicas *and*, *or*, *nand*, *nor* e *xor*. Além disso na unidade 02 podem ser criadas fórmulas lógicas com os conectivos lógicos de negação, conjunção e disjunção por meio de interruptores e *LED*.

A unidade 03 é uma unidade de apoio para construções que envolvam a inserção de outros componentes em projetos futuros. Nesta terceira unidade é prevista a montagem de um temporizador.

O manual traz os seguintes itens:

- **Lista de componentes**

Onde as peças que irão compor o projeto são discriminadas, ilustradas, quantificadas e localizadas no projeto.

- **Projeto de montagem**

Que trata de como a placa é utilizada, detalha o tipo de placa especificado no projeto e descreve as diferenças entre as placas simuladas no protótipo virtual e as placas encontradas no mercado pela pesquisa e como sanar estas diferenças durante as simulações.

Orienta o usuário quanto à interpretação da simbologia descrita na placa, sobre a identificação dos furos para posicionamento dos componentes. Aqui é oferecido um vídeo de instrução sobre o funcionamento da placa.

link:<<https://youtu.be/FvRv6pwCKbw>>.

Detalha os componentes a serem instalados em cada placa, como eles serão instalados e onde eles serão inseridos.

Apresenta uma ilustração do protótipo virtual, um desenho técnico da montagem das 3 unidades do painel e 3 desenhos detalhados, um de cada unidade do painel, onde são ilustradas e especificadas as posições onde os componentes devem ser instalados.

- **Manual de uso**

Que explica como cada componente funciona e qual barramento da placa utilizar

para o seu acionamento. Orienta o usuário quanto ao uso correto dos componentes e chama a sua atenção para evitar os possíveis erros de montagem que venha acarretar em danos aos dispositivos.

- **Exemplos de circuitos que podem ser montados**

Aqui são apresentadas as simulações construídas com o protótipo virtual e disponibilizadas na sequência didática, como exemplo das possibilidades de utilização do painel.

- **Orçamento**

Neste item é disponibilizada uma pesquisa de preços realizada no dia 18/03/2024 nos *site* de compras: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> e <<https://www.amazon.com.br/>>, onde o preço de cada componente foi consultado e ao final foi montada uma tabela com os custos estimados das peças para a montagem do painel.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Ao concluir este estudo, foi possível ampliar a compreensão do tema, *ensino de conceitos de Lógica presentes na automação de processos*. No que se refere aos conceitos de Lógica, o Capítulo 4 e o Apêndice G exploraram conceitos trazidos em livros voltados para o ensino superior com exemplos próprios e uma abordagem que pretende ser acessível ao público da Educação Básica. No que tange à automação de processos, o Capítulo 3 trouxe um panorama geral da evolução da automação desde a primeira revolução industrial até o predomínio da conectividade, mostrando exemplos de como a automação está presente no cotidiano, mencionando os princípios lógicos que fundamentam a linguagem por meio da qual as máquinas são controladas. Além disso, o Capítulo 2 mostra algumas abordagens que têm sido adotadas para o ensino da Lógica na Educação Básica, para depois o Capítulo 5 apresentar uma forma alternativa de abordar este ensino.

Podemos considerar que a pesquisa sobre a evolução da indústria e dos mecanismos de automação trazidos no Capítulo 3 e a proposta de ensino da Lógica trazida no Capítulo 5, fornecem uma importante ferramenta para o problema da pesquisa: *Como abordar o ensino da Lógica na segunda fase do Ensino Fundamental e Ensino Médio da Educação Básica e qual a relevância dessa abordagem?*, uma vez que o primeiro (Capítulo 3) expõem a relevância da Lógica no processo de revolução tecnológica vivenciado nos últimos séculos, sobretudo no avanço da automação, e com isso mostra a relevância da abordagem de conceitos de Lógica na Educação Básica. Por sua vez, o segundo (Capítulo 5) propõe uma forma de abordar o ensino da Lógica na Educação Básica com base nos princípios utilizados para o controle de máquinas elétricas.

O Capítulo 3 e o Apêndice F permitem que a pesquisa alcance o seu objetivo específico: *Entender a evolução da automação de processos e perceber a presença de conceitos de Lógica na linguagem por meio da qual as máquinas são controladas*. Uma vez que discorre sobre a evolução da indústria, sobre a evolução da automação e sobre os locais onde ela se apresenta. Além disso, mostra a presença da Lógica *Booleana* na linguagem utilizada para automação das primeiras máquinas controladas por eletromecânica e na evolução deste controle lógico de máquinas, que passou a ser eletrônico e posteriormente computadorizado e interconectado por tecnologias digitais que fazem uso da sintaxe e dos valores semânticos da Lógica Matemática.

Com o Capítulo 2 a pesquisa buscou seu objetivo específico: *Entender como o ensino da Lógica tem sido abordado na Educação Básica e os resultados que têm sido obtidos.*

O terceiro objetivo específico: *Estabelecer uma proposta baseada em dispositivos eletrônicos, relés e interruptores na elaboração de projetos de circuitos que simulem o acionamento de máquinas, para a aprendizagem de conceitos de Lógica.* é buscado no Capítulo 5.

Com isso, chegamos ao objetivo geral da pesquisa: *Desenvolver um método para o ensino-aprendizagem da Lógica na segunda fase do Ensino Fundamental e no Ensino Médio da Educação Básica com base na atividade prática, visando transformar o tema em um objeto de interesse dos envolvidos no processo.* O método proposto é dividido em dois produtos didáticos: uma sequência didática, cujas atividades propostas fazem uso de um protótipo virtual de um painel de componente eletromecânicos para estudo dos conceitos de Lógica presentes no acionamento eletromecânico e eletrônico; um manual técnico de montagem e uso do modelo físico do painel mencionado na sequência didática.

Apesar da proposta não ter sido experimentada, a pesquisa bibliográfica e o estudo do autor em campo colaboram para a argumentação em favor da validade da hipótese de que *haverá sucesso no processo de ensino-aprendizagem de aspectos de Lógica na Educação Básica a partir de uma abordagem que promova a atividade prática e demonstre sua aplicabilidade e sua relação com outros conhecimentos.* O Capítulo 2 mostra experiências bem sucedidas com a abordagem do ensino da Lógica por meio de atividades práticas e coletivas como mostra Davis (2014), por exemplo. Quanto aplicabilidade, entre outros exemplos estudados no Capítulo 2, Vargas, Silva e Finger (2022) mostra experiências positivas de abordagem da Lógica na Educação Básica envolvendo programação. Além disso, na experiência vivenciada em campo, o autor pode perceber o interesse dos discentes pela aplicação dos conceitos, pela atividade prática e pela busca de soluções em grupo para os problemas propostos.

A leitura, análise, comparação e síntese de diferentes autores sobre o mesmo tema durante a pesquisa reforça nossa postura sobre a relevância de sua abordagem. Tanto os autores nacionais quanto os autores internacionais consultados defenderam a pertinência da abordagem do ensino da Lógica na Educação Básica, dada sua importância na construção e na interpretação da validade de argumentos, bem como na construção da linguagem de máquina, fundamental para o funcionamento dos equipamentos que possibilitam as *TICs* e *TDICs*, essenciais para a conectividade da vida contemporânea. Além disso foi observada,

tanto a necessidade quanto a disponibilidade dos professores para o aprimoramento de conhecimentos de Lógica Formal, pela pesquisa conduzida por Capelin (2016) e pela experiência vivida pelo autor na educação. Identificou-se que muitos professores que dizem trabalhar a Lógica em suas aulas encontram dificuldades ou não aplicam as regras lógicas, mas sim o raciocínio lógico em soluções de problemas. Foram percebidos diversos focos nas propostas de abordagem do ensino da Lógica, uns voltados para brincadeiras e construção de argumentações na língua natural, outros voltados para a robótica, outros para a programação. Também foram analisadas pesquisas que buscavam entender como o tema era trazido nas orientações curriculares e até trabalhos que abordaram a Lógica de forma fenomenológica. Contudo não foram encontradas pesquisas que voltassem sua atenção para a compreensão dos conceitos de Lógica presentes no acionamento de máquinas e para o estudo da Lógica no contexto da automação industrial.

A pesquisa permitiu também a produção de um texto de referência para o professor que desejar aprimorar seus conhecimentos de Lógica, disponível no Capítulo 4 e no Apêndice G. Com este material, o professor poderá propor sequências didáticas que tragam o tema em maior profundidade e com a abordagem de outros dos seus aspectos.

Como trabalho futuro, pretende-se expandir o material didático para construção de circuitos com o uso do painel virtual. Também, vislumbra-se realizar a montagem do painel físico descrito pelo manual e propor novas sequências didáticas que utilizem este material concreto, além de novas simulações virtuais. Sugere-se também, a realização de uma pesquisa que investigue os efeitos da aplicação da proposta na aprendizagem de conceitos de Lógica, na capacidade dos alunos de entender conceitos lógicos e de transformar uma situação problema escrita na língua materna em uma situação descrita por símbolos lógicos e solucionar tal problema.

Referências

- AUTODESK. *Autodesk Tinkercad*. 2024. [Www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com). Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>, Acesso em: 16 fev. 2024.
- AVIGAD, J. Opinion: The mechanization of mathematics. *Notices of the American Mathematical Society*, v. 65, p. 681–690, 06 2018.
- AVIGAD, J.; HARRISON, J. Formally verified mathematics. *ACM Digital Library*, v. 57, p. 66–75, 04 2014.
- BATISTA, R. M. *O Ensino de Lógica de Programação na Educação Básica e seus Impactos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.
- BENFICA, W. *Conheça o Tinkercad: uma ferramenta gratuita para educação*. 2023. [Www.onlineescola.com.br](http://www.onlineescola.com.br). Disponível em: <<https://www.onlineescola.com.br/2023/08/conheca-o-tinkercad-uma-ferramenta.html>>, Acesso em: 16 fev. 2024.
- BOBSIN, R. et al. O pensamento computacional presente na resolução de problemas investigativos de matemática na escola básica. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 1473–1482. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12903>>.
- BOULDER, U. of C. *PhET: Simulações online gratuitas de física, química, biologia, ciências da terra e matemática*. 2024. [Phet.colorado.edu/](http://phet.colorado.edu/). Disponível em: < <https://phet.colorado.edu/> >, Acesso em: 07 fev. 2024.
- BRAGA, N. C. *Relés Circuitos e Aplicações*. [S.l.]: São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2012.
- BRAGA, O. R. M. *Objeto de Aprendizagem Adaptativo no Ensino da Lógica Booleana*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.
- CADESIMU. *Simulador - Cade Simu*. 2024. [Cadesimu.net](http://cadesimu.net). Disponível em: < <https://cadesimu.net/> >, Acesso em: 04 fev. 2024.
- CAMARGO, V. L. A. de. *Elementos de Automação 1.ed.* [S.l.]: São José dos Campos: Editora Érica|Saraiva, 2013. v. 1.
- CAPELIN, E. T. *O ensino da lógica na educação básica: uma pesquisa com professores sobre os conhecimentos e a aplicação da lógica na rede estadual de ensino em um município do sudoeste do Paraná*. Dissertação (Mestrado) — (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.
- CARLOS, L. *O que é e como Funciona o Inversor de frequência*. 2024. [Www.sabereletrica.com.br](http://www.sabereletrica.com.br), Comandos Elétricos. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/inversor-de-frequencia/>>, Acesso em: 24 fev. 2024.

- CARVALHO, A. D. S. d. et al. Gestão da aprendizagem, proatividade e autonomia dos discentes: Novas práticas. *Aturá - Revista Pan-Amazônica de Comunicação*, v. 1, n. 3, p. 175–188, dez. 2017. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/atatura/article/view/4096>>.
- CASTRO, R. C. G. *Manual de Comandos Industriais 10.ed.* [S.l.]: Fortaleza: CEFET-CE, 2004.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. da. *Metodologia científica. 6.ed.* [S.l.]: São Paulo: Pearson Pretience Hall, 2007.
- DAGHLIAN, J. *Logica E Algebra De Boole. 4.ed.* [S.l.]: São Paulo: Atlas, 1995.
- DANTE, L. R. *Matemática: Contexto e Aplicações. 2.ed.* [S.l.]: São Paulo: Ática, 2014. Volume 2.
- DAVIS, J. *Logic in the Classroom, Four Activities.* 2014. PLATO, Philosophy Learning and Teaching Organization. Disponível em: <<https://www.plato-philosophy.org/james-davis-logic-in-the-classroom-fou>>, Acesso em: 8 mai. 2023.
- FESTO. *FluidSIM Projetar. Simular. Aprender.* 2024. Wwww.festo.com. Disponível em: <https://www.festo.com/br/pt/e/educacao/aprendizagem-digital/simulacao-e-modelacao-virtual/fluidsim-id_1663056/>, Acesso em: 29 jan. 2024.
- FILHO, B. B.; BARRETO, C. X. *Matemática aula por aula: volume único: ensino médio.* [S.l.]: São Paulo: FTD, 2000. Único.
- FOLHA.COM. *Pato, Pato, Ganso.* 2011. Mapadobrincar.folha.com.br. Disponível em: <<https://mapadobrincar.folha.com.br/brincadeiras/cantadas/139-pato-pato-ganso>>, Acesso em: 9 mai. 2023.
- G1.GLOBO.COM. *O primeiro computador da história? Conheça o artefato de 2 mil anos que é o objeto mais misterioso da história da tecnologia.* 2016. G1.globo.com, Ciência e Saúde. Disponível em: <<https://glo.bo/29gktvD>>, Acesso em: 18 jul. 2023.
- G1.GLOBO.COM. *Nanorrobôs, impressão de órgãos: como a tecnologia faz uma revolução na medicina.* 2019. G1.globo.com, Inovação. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/inovacao/noticia/2019/09/02/nanorrobos-impressao-de-orgaos-como-a-tecnologia-faz-uma-revolucao-na-medicina.ghtml>>, Acesso em: 20 fev. 2023.
- GENESERETH, M.; CHAUDHRI, V. *Logic in Secondary Education.* Computer Science Department Stanford University, U.S.: Stanford University. Disponível em: <<http://intrologic.stanford.edu/miscellaneous/intro.html>>, Acesso em: 10 mai. 2023.
- GOES, P. *SDCD: A Revolução Do Controle Distribuído Na Indústria.* 2023. Dicionariodopetroleo.com.br, Glossário. Disponível em: <<https://dicionariodopetroleo.com.br/sdcd-distribuido-controle/>>, Acesso em: 24 fev. 2024.
- GOMES, O. R.; SILVA, J. C. *Estruturas Algébrias para Licenciatura: Introdução à Teoria dos Números.* [S.l.]: Brasília: Premium, 2008. v. 1.
- GREGG, J. *Ones And Zeros, Understanding Boolean Algebra, Digital Circuits and the Logic of Sets.* [S.l.]: Hoboken, New Jersey: John Wiley e Sons, 1998.

- HENRIQUE, H. *COMANDOS ELÉTRICOS: Simbologia, Associação de Contatos e Conceitos Básicos*. 2009. Ifrn.edu.br, docente. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-conceitos-de-comandos-eletricos>>, Acesso em: 02 mar. 2024.
- HUT, M.; RYAN, M. *Logic In Computer Science, Modelling and Reasoning about Systems*. [S.l.]: Cambridge: Cambridge University, 2004.
- LIMA, E. L. *Números e Funções Reais*. [S.l.]: Rio de Janeiro: SBM, 2013. Volume 3. Coleção PROFMAT,07.
- LIMA, F. S. de. A automação e sua evolução. *Redes para Automação Industrial DCA2401 - PPGEE*. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 5 2003.
- LUCKESI, C. C. *Avaliação da aprendizagem na escola, reelaborando conceitos e recriando a prática*. 2.ed. [S.l.]: Salvador: Malabares, 2005.
- MANZANO, J. A. N. G.; OLIVEIRA, J. F. de. *Algoritmos: Lógica Para Desenvolvimento de Programação de Computadores*. 28.ed. [S.l.]: São José dos Campos: Érica|Saraiva, 2018.
- MATTEDE, H. *O que é um soft starter ?* 2024. [Www.mundodaeletrica.com.br](http://www.mundodaeletrica.com.br), Conceitos de eletricidade. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-soft-starter/>>, Acesso em: 24 fev. 2024.
- MORGADO, A. C.; CARVALHO, P. C. P. *Matemática Discreta*. 2. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: SBM, 2015. Coleção PROFMAT,12.
- NETMUNDI.ORG. *Zenão de Eleia: O Paradoxo de Aquiles e a Tartaruga*. 2020. Filosofia na Rede, NETMUNDI.ORG, Página Filosofia Antiga. Disponível em: <<https://www.netmundi.org/filosofia/2020/zenao-de-eleia-o-paradoxo-de-aquiles-e-a-tartaruga/>>, Acesso em: 8 mai. 2023.
- NEVES, B. C.; BORGES, J. Por que as fake news têm espaço nas mídias sociais? : uma discussão a luz do comportamento infocomunicacional. *Informação ; Sociedade: Estudos*, v. 30, n. 2, abr. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/ies/article/view/50410>>.
- NRICH, C. f. M. S. *Logic, and How it Should Influence Our Teaching*. 2013. NRICH, Centre for Mathematical Sciences, Cambridge, U.K.: University of Cambridge. Disponível em: <<https://nrich.maths.org/2588>>, Acesso em: 7 mai. 2023.
- PEREIRA, S. do L. *Lógica de Predicados*. 2016. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, IME - USP. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/slago/IA-logicaDePredicados.pdf>>, Acesso em: 06 set. 2023.
- ROBOTS, U. *A Evolução da Robótica Industrial: Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0*. 2022. [Www.universal-robots.com](http://www.universal-robots.com). Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/a-evolucao-da-robotica-industrial-da-industria-10-a-industria-40/>>, Acesso em: 23 fev. 2024.

- ROBOTS, U. *A História da Robótica: Dos Autômatos Antigos Aos Cobots e Outros Robôs Modernos*. 2023. www.universal-robots.com. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/a-história-da-robótica-dos-autômatos-antigos-aos-cobots-e-outros-robôs-modernos/>>, Acesso em: 20 fev. 2024.
- ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. *Automação Industrial*. [S.l.]: Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria, Santa maria, RS, 2016.
- SANCHOTENE, C.; MARQUES, D. N. Quando a arma é a notícia: : um estudo sobre a circulação de fake news. *Comunicação ; Informação*, v. 24, jul. 2021. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/ci/article/view/56755>>.
- SOARES, A. d. S. A automação e o terceiro mundo. *Revista de Administração de Empresas*, Fundação Getulio Vargas, Escola de Administração de Empresas de S.Paulo, v. 28, n. 3, p. 63–69, Jul 1988. ISSN 0034-7590. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-75901988000300008>>.
- SOUZA, J. N. de. Lógica para ciência da computação e áreas afins. *Faculdade de Computação - Universidade Federal De Uberlândia*, 2015.
- SOUZA, N. G. S. D. *O Ensino da Lógica na Educação Básica*. 91 f. Monografia (Graduação) — Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- TAVARES, J. M. R. S.; FONSECA, J. O. *Exemplos de Programas em CNC*. 2009. FEUP - Universidade do Porto. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/tavares/ensino/CFAC/Downloads/Apontamentos/Aplicacoes%20CNC-ISO_p.pdf>, Acesso em: 02 mar. 2024.
- VARGAS, K. D.; SILVA, J. P. da; FINGER, A. Estratégias para o ensino de lógica matemática com pensamento computacional: Uma revisão sistemática da literatura. In: *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2022. p. 1391–1403. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/22510>>.
- WINQUES, K. *Nos Caminhos da Iniciação Científica, Guia para pesquisadores em formação*. [S.l.]: Joinville: IELUSC, 2022.
- ÉPOCA. *Primeiro robô humanoide a trabalhar é segurança de fábricas nos EUA e na Europa*. 2023. [Epocanegocios.globo.com](http://epocanegocios.globo.com), Tecnologia. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/tecnologia/noticia/2023/05/primeiro-robot-humanoide-a-trabalhar-e-seguranca-de-fabricas-nos-eua-e-na-europa.ghtml>>, Acesso em: 20 fev. 2023.

Apêndices

APÊNDICE A – Sequência Didática

A sequência didática proposta a seguir é um dos produtos didáticos oferecido pela dissertação de mestrado: *Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores*, autor: Bruno dos Santos Carvalho, orientadora: Dra. Thaynara Arielly de Lima. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional da Sociedade Brasileira de Matemática, realizado pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Matemática, no ano de 2024.

Utilizamos vídeos oferecidos pelo canal Manual do Mundo, no *YouTube* e vídeos produzidos pelo autor para esta proposta, disponíveis na mesma plataforma, textos produzidos com base na pesquisa realizada para a dissertação e simulações interativas criadas pelo autor com o aplicativo *Tinkercad*, para propor uma estratégia de ensino-aprendizagem de conceitos de Lógica com a construção de circuitos elétricos e eletrônicos.

Para realização das atividades propostas é necessário que os alunos utilizem computadores com acesso a internet. Recomendamos que o presente arquivo seja disponibilizado nos computadores dos alunos, para facilitar o acesso a cada *link* oferecido. E que sejam disponibilizados, impressos ou em formato editável, os apêndices B, C e o item A.7.4.3 para realização das atividades propostas. O professor, que julgar necessário, pode complementar sua fundamentação sobre os temas tratados com os textos disponíveis na dissertação, em seus apêndices, anexos e bibliografia.

Esta proposta foi pensada como uma sequência de oficinas a serem realizadas em contra-turno ou outro momento destinado à atividade extracurricular.

Sugerimos que os alunos sejam dispostos em duplas ou trios, porém é importante o acesso a computadores individuais para que todos tirem proveito da experiência com o ambiente simulado. Os vídeos podem ser apresentados em projeção visível por todos ou em cada computador simultaneamente, nos casos em que sistemas de rede estejam disponíveis; também, os *links* de cada vídeo podem ser disponibilizados para que cada aluno acesse individualmente. Neste caso, recomendamos o uso de fones de ouvido devido a eventual falta de sincronia na abertura dos vídeos.

Caso seja viável a utilização da versão concreta do painel virtual, disponível no Apêndice E, as recomendações de segurança devem ser observadas, bem como as demais

trazidas pelo manual.

No que tange a avaliação, seus resultados devem ser tratados com o devido cuidado qualitativo, uma vez que estes resultados virão das impressões dos alunos com relação a aplicação das oficinas. Cabe ao professor compreender todos os elementos do contexto de implementação da proposta e contribuir para a compreensão do aluno acerca das questões feitas na sugestão de avaliação trazida no Apêndice D. Ressaltamos que este questionário não têm pretensão científica, trata-se de um estímulo à análise crítica do trabalho desenvolvido, para sua contínua melhoria. Contudo este produto está à disposição do interessado em conduzir um projeto próprio de pesquisa científica relacionado à sua implementação.

A.1 Oficina 1 – Eletromagnetismo, Lei de *Faraday* e Solenoide

Os objetivos dessa aula são:

- Entender o propósito da sequência didática.
- Entender o princípio pelo qual podemos converter energia elétrica em mecânica e mecânica em elétrica.

A.1.1 (*Momento de Acolhida - 15min.*)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.1.2 (*1º Momento - 20min.*): Apresentação da sequência didática

Ao longo da sequência didática vamos utilizar relés e interruptores para estudar os conectivos lógicos da Lógica *Booleana*. Para isso vamos simular circuitos eletrônicos utilizando o aplicativo de computador *Tinkercad*.

Interruptores são dispositivos que ligam e desligam componentes elétricos de um circuito, lâmpadas por exemplo. Quando ele está aberto a lâmpada não recebe corrente elétrica e permanece apagada. Quando ele está fechado a lâmpada recebe corrente elétrica e é acesa.

Relés são equipamentos eletromecânicos que abrem e fecham interruptores por efeito eletromagnético e acionam equipamentos automaticamente sem a necessidade de o usuário acionar o interruptor manualmente.

A Lógica *Booleana* é baseada nas operações lógicas de negação (*não*), conjunção (*e*) e disjunção (*ou*) e fundamenta a programação de computadores e máquinas elétricas em geral.

Estes elementos possibilitam a automação dos processos cotidianos. Desde a programação do funcionamento de equipamentos industriais, como braços robóticos em linhas de montagem. Até o acionamento de uma lâmpada por comando de voz ou desligamento automático de um micro-ondas após o tempo programado.

O princípio do funcionamento dos relés é o solenoide. Ele está relacionado com a lei de *Faraday*, que diz que a movimentação de um ímã próximo a um condutor elétrico gera corrente elétrica sobre este. O princípio de funcionamento dos relés é o efeito inverso, onde a corrente elétrica percorre o condutor, gera campo magnético e move o material ferromagnético.

Para o professor: Para a apresentação da proposta e enriquecimento da discussão inicial, o professor pode complementar seus conhecimentos sobre o tema com o Capítulo 3, com o Apêndice F, com o Capítulo 4 e com o Apêndice G da dissertação. Os dois primeiros oferecem uma visão geral sobre a evolução da indústria e dos processos de automação e os outros dois apresentam uma visão geral sobre os conceitos de Lógica Proposicional. Além disso, sugerimos disponibilizar o material aos alunos que se interessarem pela leitura.

A.1.3 (2º Momento - 25min.): Usando um solenoide

A.1.3.1 Vídeo: **Motor V8 eletromagnético** (Manual do Mundo) - 12:39 min.

link: <<https://youtu.be/SwvucPdO6ik>>

Neste vídeo os alunos poderão ver a utilização do solenoide em uma atividade lúdica de entretenimento.

A.1.4 (3º Momento - 20min.): Princípio de funcionamento do Solenoide e Lei de *Faraday*

A.1.4.1 Vídeo: **Funcionamento de um solenoide** (produzido pelo autor) – 2:07 min.

link: <<https://youtu.be/VSBF5Pzr5pY>>

Neste vídeo os alunos verão uma animação do princípio de funcionamento do solenoide.

No solenoide a corrente elétrica gera campo magnético que move um ímã ou um material ferromagnético. Este é o mesmo princípio de funcionamento dos motores elétricos, onde a passagem de corrente elétrica por uma bobina gera campo magnético, que gera movimento. O efeito inverso é usado para transformação de movimento em energia elétrica e é o princípio utilizado nos geradores elétricos das usinas hidrelétricas por exemplo. Neste caso o movimento de um ímã perto de uma espira condutora gera corrente elétrica, este fenômeno é descrito pela Lei de *Faraday*. Acesse o *link* abaixo e simule este efeito.

A.1.4.2 Simulação: Lei de *Faraday* (*PhET Colorado*)

link: <https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_all.html>

Nesta simulação o aluno poderá perceber os efeitos físicos da lei de *Faraday*. Para realizar a simulação acesse o *link* e mova o ímã próximo a espira, clicando sobre ele com o mouse e arrastando.

A.1.5 (Momento avaliativo - 15min.)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

<p>Para o professor: O Apêndice D traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.</p>
--

A.2 Oficina 2 - Relés, Lógica *Booleana* e computadores antigos

Os objetivos dessa aula são:

- Entender o que é, como funciona e para que serve um relé.
- Entender como os relés estão relacionados com a Lógica *Booleana*.
- Entender como funcionavam os computadores eletromecânicos.

A.2.1 (*Momento de Acolhida - 15min.*)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.2.2 (*1º Momento - 15min.*): Como funciona um relé

A.2.2.1 Vídeo: **Funcionamento de um relé** (produzido pelo autor) – 2:03 min.

link: <<https://youtu.be/E0IPFdQNUv8>>

Neste vídeo temos uma simulação na qual o aluno perceberá como funciona o mecanismo interno de um relé.

A.2.3 (*2º Momento - 30min.*): Como a eletricidade e a Lógica *Booleana* influenciaram a evolução dos computadores e a linguagem computacional

Os primeiros computadores eram máquinas com engrenagens, rodas e manivelas que serviam para registrar valores e auxiliavam em cálculos simples, utilizando o sistema decimal. Com a revolução da eletricidade no final do século XIX surgiram os computadores elétricos. Eles funcionavam a partir do acionamento de relés que poderiam estar ligados ou desligados. Com isso os computadores começaram a utilizar a linguagem binária, que é utilizada pelas máquinas elétricas e pelos computadores atuais; e a Lógica *Booleana* com as operações lógicas de negação (não), conjunção (e) e disjunção (ou), que fundamentam as linguagens de programação de máquinas.

A.2.3.1 Vídeo: **A revolução elétrica** (Manual do Mundo) - 15:57min.

link: <<https://youtu.be/uQPiyxoCk9E?si=kkzjWMOKIHnMfGza>>

Neste vídeo veremos o princípio de funcionamento dos computadores elétricos antigos, a inserção da linguagem binária nos processos de computação e Lógica *Booleana* que envolve o processo. Podemos ressaltar que a função de acionamento a distância que os relés têm, permite uma facilitação do processo de acionamento e aumenta a segurança do usuário, que pode operar o processo à distância.

A próxima revolução da computação veio com a eletrônica, com os Circuitos Integrados e com os chips de computador modernos, que conseguem agregar a funcionalidade de trilhões de relés em um pequeno *chip* presente em aparelhos celulares por exemplo. Fica como recomendação de conteúdo complementar, os demais episódios da *playlist #SagaDosComputadores* do canal do *YouTube* Manual do Mundo.

A.2.4 (3º Momento - 20min.): Cadastro no *Tinkercad*

A.2.4.1 Vídeo: **Como se cadastrar e como usar o Tinkercad** (produzido pelo autor) - 4:04min.

link: <https://youtu.be/yh_v6ZiVcns>

Neste vídeo vamos mostrar como se cadastrar e como utilizar o *Tinkercad* para realizar criações, simulações ou edições de projetos.

Em seguida, utilizando computadores com acesso a internet, cada alunos pode criar sua conta no aplicativo, para que possa realizar as atividades propostas nas aulas seguintes.

A.2.5 (Momento avaliativo - 15min.)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

Para o professor: O Apêndice D traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.

A.3 Oficina 3 – Entendendo os conectivos lógicos *and*, *or* e *not* com o uso de relés, interruptores em paralelo e interruptores em série

O objetivo dessa aula é:

- Entender a relação entre os conectivos lógicos e o acionamento de equipamentos elétricos por interruptores.

A.3.1 (*Momento de Acolhida - 15min.*)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.3.2 (*1º Momento - 25min.*): Interruptores em série e interruptores em paralelo e os conectivos *and* e *or*

Como vimos no vídeo *A revolução elétrica* do canal do *YouTube* Manual do Mundo, a linguagem computacional utiliza a Lógica *Booleana*, onde temos as proposições e os conectivos lógicos que associam estas proposições. No vídeo a seguir vamos relacionar a afirmação *a lâmpada é acesa* à afirmação *o interruptor está fechado*, utilizando os conectivos lógicos *and* (e) e *or* (ou).

A.3.2.1 Vídeo: **Interruptores em paralelo e interruptores em série, conectivos lógicos *or* e *and*** (produzido pelo autor) - 4:01min.

link: <<https://youtu.be/3DzYsVHV24g>>

Neste vídeo vamos observar que o conectivo *and* está representado por uma associação de interruptores em série e o conectivo *or* está representado por uma associação de interruptores em paralelo.

No *link* a seguir, acesse a simulação interativa do circuito visualizado no vídeo e realize a simulação.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/dTIXIPGsKIP-interruptores-em-serie-e-em-paralelo-conectivos-logicos-and-e-or?sharecode=kmnT8z-bQpJ7uGeSLdz6feB5sToCT4c7VNvVzCbsSIk>>

A.3.3 (2º Momento - 25min.): Usando um relé

Já vimos o que é um relé e discutimos suas aplicações. Agora vamos criar um circuito envolvendo um relé.

A.3.3.1 Vídeo: **Usando o relé** (produzido pelo autor) - 5:21min.

link: <<https://youtu.be/RUVEN2F5iOk>>

Neste vídeo veremos como criar um circuito utilizando um relé.

Agora simule o circuito, acessando o *link* do projeto no *Tinkercad*

link: <<https://www.tinkercad.com/things/lgEAg0GFAZA-usando-o-rele?sharecode=bvRoeJD3V9fsp3XU8jzJXKPkr1aAkbXqfUzc9y2xfig>>

A.3.4 (3º Momento - 20min.): Usando um relé para criar um circuito que está relacionado com o conectivo lógico *not*

A.3.4.1 Vídeo: **Contato normalmente fechado do relé e o conectivo lógico *not*** (produzido pelo autor) - 1:36min.

link: <<https://youtu.be/f7nfpSISjOU>>

Neste vídeo o aluno irá correlacionar o contato normalmente fechado de um relé com o conectivo lógico *not*.

Agora acesse o *link* do *Tinkercad* e realize a simulação.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/3rPp6cLnYHg-o-conectivo-logico-not-e-o-contato-normalmente-fechado-do-rele?sharecode=t6Ebq6tf5-sAOtHE2ZFrzQ7IfB8dcaguk9POUcGF1mw>>

A.3.5 (Momento avaliativo - 15min.)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

Para o professor: O Apêndice D da dissertação traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.

A.4 Oficina 4 – Aplicação de relés no acionamento de equipamentos industriais e no aprendizado de Lógica *Booleana*

Os objetivos dessa aula são:

- Entender como utilizar um relé para manter um dispositivo elétrico ligado após a pressão de um botão e como desliga-lo com a pressão de outro botão.
- Entender como funcionam as Portas Lógicas básicas *not*, *and*, *or*, construídas com o uso de relés e interruptores.

A.4.1 (Momento de Acolhida - 15min.)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.4.2 (1º Momento - 40min.): Construção de um selo elétrico com relé para o acionamento de equipamentos

Antes de elaborarmos o projeto, vamos observar e discutir a representação utilizada em diagramas elétricos para alguns elementos de acionamento elétrico. Use a tabela disponível no Anexo C da dissertação.

Para manter a energização de um relé utilizamos um circuito paralelo à alimentação que passa pelo botão, caracterizando uma fórmula lógica do tipo *or*, acionada pelo próprio relé. Assim, mesmo após cessada a pressão sobre o botão, o relé continua recebendo energia do circuito paralelo e continua ligado. Este mecanismo de selo elétrico é muito utilizado nos acionamentos de equipamentos industriais.

A.4.2.1 Vídeo: **Haste que gira** (produzido pelo autor) - 3:36min.

link: <<https://youtu.be/uUP-CQfbY9M>>

Nesse vídeo veremos uma simulação do uso de relés para acionar um equipamento.

A.4.2.2 Vídeo: **Selo elétrico** (produzido pelo autor) – 4:16min.

link: <<https://youtu.be/r8Y6OsZBAFU>>

Neste vídeo vamos entender como construir o selo elétrico, criando um circuito paralelo de alimentação do relé.

A.4.2.3 Vídeo: **Desligando um selo elétrico** (produzido pelo autor) - 3:58min.

link: <<https://youtu.be/v3ukyhelncI>>

Neste vídeo vamos entender como podemos criar um dispositivo de desligamento do selo elétrico, utilizando o contato normalmente fechado de outro relé para criar um circuito análogo ao conectivo lógico *not*.

Agora simule o fechamento e a abertura do selo elétrico no *Tinkercad*.

link: <https://www.tinkercad.com/things/2WowM1Kh3SW-selo-eletrico?sharecode=S0pFJiy4WuE8w2tztKV9RmXf7bidPP2BG8_Br-j5lvq>

A.4.2.4 Vídeo: **Simulando o circuito de um semáforo** (produzido pelo autor) - 1:54min.

link: <https://youtu.be/xGmI-Y0ZB_Q>

Neste vídeo simulamos o acionamento de um semáforo com relés e temporizadores. O aluno poderá perceber a existência de selos elétricos e intertravamentos elétricos. Intertravamento é o meio pelo qual dois relés não funcionam simultaneamente, sempre que um liga o outro desliga, este efeito é conseguido passando a alimentação elétrica de um relé pelo contato normalmente fechado de outro e vice-versa. Assim quando um está ligado o outro está desligado.

Para o professor: Conforme a conveniência e o desenvolvimento do projeto na turma, o professor pode ampliar a discussão, associando este exemplo ao diagrama de Venn, e ressaltar que não valem nenhuma das interseções entre os conjuntos luz vermelha acesa, luz amarela acesa e luz verde acesa, mas vale o caso em que somente uma delas está acesa ou nenhuma está acesa, este último caso é quando o semáforo é desligado; bem como determinar a fórmula lógica que descreve o funcionamento do semáforo.

A.4.3 (2º Momento - 45min.): Portas lógicas básicas

Vamos visualizar e discutir a simbologia utilizada para representar as Portas Lógicas *not*, *and* e *or*. Com o auxílio da tabela disponível no Anexo E da dissertação.

Para o professor: De especial atenção para a representação da normal MIL¹, uma vez que essa é a mais usual na representação de Portas Lógicas. Acesse a Seção 4.3.2 da dissertação para complementar a sua fundamentação sobre o tema para mediar a discussão.

A.4.3.1 Portas lógicas *not*, *and*, *or*, com relés.

Agora acesse o *link* do *Tinkercad* abaixo:

link: <<https://www.tinkercad.com/things/iqdQfc16Z8m-portas-logicas-not-and-or-com-reles-?sharecode=AM28UJiTNdzevbESGi-6qfbsMTSkW98RA72jJOLNmw>>

Simule o fechamento dos interruptores e descubra qual porta lógica está associada a cada circuito.

Agora realize o exercício proposto no Apêndice B da dissertação.

Para o professor: lembre-se de associar os valores 1 e 0 à verdadeiro e falso quando a situação trouxer afirmações ao invés de interruptores. As respostas esperadas para o exercício 01 acima são: terceira coluna de cima para baixo: *and*, *or*, *not*, quarta coluna de cima para baixo: *azul*, *amarelo*, *vermelho*. As respostas esperadas para o exercício 02 estão disponíveis na Tabela 16 da dissertação.

A.4.4 (*Momento avaliativo - 15min.*)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

Para o professor: O Apêndice D da dissertação traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.

A.5 Oficina 5 – Portas lógicas em Circuito Integrado

Os objetivos dessa aula são:

- Conhecer as Portas Lógicas derivadas, *nand*, *nor*, *xor*.
- Conhecer alguns componentes eletrônicos e suas funções.

A.5.1 (*Momento de Acolhida - 15min.*)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.5.2 (*1º Momento - 40min.*): Portas lógicas derivadas

Primeiro vamos visualizar e discutir a simbologia utilizada para representar as Portas Lógicas *nor* (negação da porta *or*), *nand* (negação da porta *and*) e *xor* (porta lógica da disjunção exclusiva), com o auxílio da tabela disponível no Anexo E da dissertação.

Para o professor: De especial atenção para a representação da normal MIL, uma vez que essa é a mais usual na representação de Portas Lógicas. Acesse a Seção 4.3.2 da dissertação para complementar a sua fundamentação sobre o tema para mediar a discussão.

A.5.2.1 Portas lógicas *not*, *and*, *or*, *nand*, *nor*, *xor*, com relés

Agora acesse o *link* do *Tinkercad* abaixo:

link: <<https://www.tinkercad.com/things/7f0xEwsHB3k-portas-logicas-not-and-or-nand-nor-xor-com-reles-?sharecode=BDQrkF850FMa0iarRjTRYDVCD5fgmtBmWnq6I-ouiBs>>

Simule o fechamento dos interruptores e descubra qual porta lógica está associada a cada circuito.

Agora realize o exercício proposto no Apêndice C da dissertação.

Para o professor: lembre-se de associar os valores 1 e 0 à verdadeiro e falso quando a situação trouxer afirmações ao invés de interruptores. As respostas esperadas para o exercício 01 acima são: terceira coluna de cima para baixo: *nand*, *nor*, *xor*, quarta coluna de cima para baixo: *rosa*, *marrom*, *cinza*. As respostas esperadas para o exercício 02 estão disponíveis na Tabela 21 da dissertação.

A.5.3 (2º Momento - 35min.): Alguns componentes eletrônicos e suas funções

A.5.3.1 Transistor

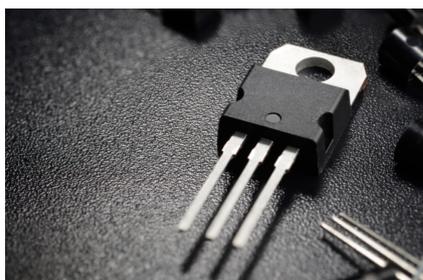


Figura 59 – **Transistor**

Fonte: <<https://techonlineblog.com/types-of-transistors/>> Acesso em: 17 mar. 2024

Os transistores são dispositivos capazes de amplificar sinais, como tensão e corrente elétrica, ou barrar sua passagem. Um exemplo de sua aplicação é na amplificação do sinal emitido por um microfone, neste caso o microfone recebe o som da voz que é de baixa intensidade e emite um sinal elétrico para o auto falante. Para que o som saia com maior intensidade, o sinal passa por um conjunto de transistores no circuito antes de chegar ao auto falante.

A.5.3.2 Capacitor



Figura 60 – Capacitor

Fonte: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/capacitores.htm>> Acesso em: 17 mar. 2024

O capacitor é um dispositivo capaz de armazenar cargas elétricas e liberar estas cargas conforme a necessidade do projeto. O tempo necessário para o armazenamento da carga e a carga máxima que ele suporta variam com a tensão e com a capacitância (unidade de medida que mede quanta carga o capacitor armazena em função da tensão). Você já viu que após desconectar uma televisão da tomada o *LED* continua aceso por um curto intervalo de tempo? Isso ocorre porque um capacitor ou um conjunto de capacitores ainda estão mantendo este *LED* ligado até se descarregarem.

A.5.3.3 Resistor



Figura 61 – Resistor

Fonte: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/resistores.htm>> Acesso em: 17 mar. 2024

Resistor é um dispositivo capaz de oferecer resistência a passagem de corrente elétrica, é utilizado para controlar potência em circuitos eletrônicos. Um *LED*, por exemplo, suporta uma corrente e uma tensão máximas conforme o projeto do dispositivo, quando um destes componentes é inserido em um circuito percorrido por tensões e correntes

superiores às máximas suportadas, o dispositivo é associado em série a um resistor para não ser danificado. Assim, quanto maior for a resistência do resistor, menor a corrente que passa pelo *LED* e conseqüentemente menor será seu brilho. Ao colocar um resistor de menor resistência, a corrente será mais alta e o brilho do *LED* será maior. A resistência de um resistor é medida na unidade *Ohm* e é padronizada por faixas de cores visíveis no dispositivo. Estas faixas determinam o valor da resistência conforme a tabela disponível no Anexo A. Na Figura 62, à esquerda temos um resistor de $500\text{m}\Omega$ (quinhentos mili ohms), ao centro um resistor de 10Ω (dez ohms) e à direita um resistor de $200\text{k}\Omega$ (duzentos quilo ohms).



Figura 62 – Cores dos resistores

Fonte: <<https://www.tinkercad.com/things/k7AsKmw20b5-resistores/edit?returnTo=%2Fdashboard%3Ftype%3Dcircuits%26collection%3Ddesigns>>
Acesso em: 17 mar. 2024

A.5.3.4 Potenciômetro

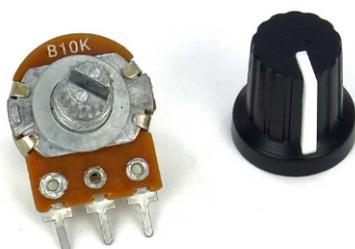


Figura 63 – Potenciômetro

Fonte: <<https://www.arcadexpress.com/es/electronica-fuentes-alimentacion/488-potenciometro-lineal-b10k-de-3-pines-con-embellecedor.html>> Acesso em: 17 mar. 2024

Potenciômetro é um dispositivo de resistência ajustável. Permite adequar a resistência do circuito para ajustar a potência disponível, conforme a necessidade do projeto, por meio do movimento de um cursor.

Simule, no link abaixo, a influência da resistência no brilho de um *LED* movendo o cursor do potenciômetro.

link: <https://www.tinkercad.com/things/eAr5t2frMJU-potenciometrossharecode=L7AUDDL9b_OnnbRmb1zu9FayWrsn66gljD_tIl0VSHs>

A.5.3.5 Diodo



Figura 64 – Diodo

Fonte: <<https://electropreguntas.com/diodo-polaridad-y-aplicaciones-en-electronica/>> Acesso em: 17 mar. 2024

O diodo é um semicondutor que permite a passagem de corrente elétrica em um único sentido (do polo denominado ânodo para o polo denominado cátodo), serve por exemplo para transformar corrente alternada em corrente contínua. Na corrente elétrica alternada temos o sentido do fluxo de elétrons alternando a uma dada frequência, no Brasil essa frequência é 60Hz. Como o diodo só permite fluxo de elétrons em um sentido, ao submetê-lo a uma corrente alternada, o fluxo de elétrons só ocorre quando está de acordo com o que o diodo permite, quando o fluxo de elétrons alterna e passa para o sentido que o diodo não permite passagem, o diodo cessa a corrente elétrica. Para exemplificar vamos simbolizar o fluxo de elétrons no sentido permitido pelo diodo com (\uparrow), no sentido contrário (\downarrow) e a ausência de fluxo de elétrons por (0). A corrente alternada antes do diodo poderia ser representada por ($\uparrow \downarrow \uparrow \downarrow \dots$) e a corrente após o diodo por ($\uparrow 0 \uparrow 0 \dots$). Dessa forma uma associação de diodos permite que o fluxo de elétrons em uma corrente alternada percorra o circuito somente em um sentido, transformando corrente alternada em corrente contínua.

A.5.3.6 LED

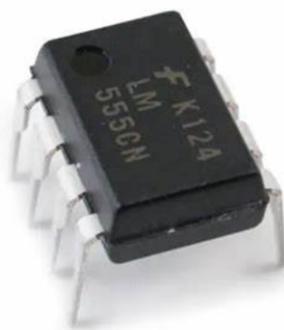
Figura 65 – **LED**

Fonte: <<https://thaipublica.org/2014/10/led/>> Acesso em: 17 mar. 2024

LED é um diodo emissor de luz, quando percorrido por corrente elétrica no sentido permitido ele emite luz, quando percorrido por corrente elétrica no sentido contrário, ele impede a passagem da corrente e não emite luz. Veja na simulação a seguir que quando o polo positivo da fonte de corrente elétrica está conectado ao ânodo do *LED* e o polo negativo da fonte de corrente elétrica está ligado ao cátodo do *LED* há passagem de corrente elétrica e o *LED* acende. Já quando a ligação é invertida o *LED* não acende.

link: <https://www.tinkercad.com/things/cWQzjYKE8js-led?sharecode=9bn_DpySn8YNkOr5DsWPJplxInbws3gTseg4DxBoq6g>

A.5.3.7 Circuito Integrado

Figura 66 – **Circuito Integrado 555**

Fonte: <<https://todaycircuits.blogspot.com/2011/06/555-timer-complete-basic-guide.html>> Acesso em: 17 mar. 2024

Os Circuitos Integrados são dispositivos fabricados com semicondutores e microeletrônica. Eles acumulam vários componentes eletrônicos como, transistores, resistores,

capacitores e diodos em pequenos chips. Dada a quantidade de componentes eletrônicos microscópicos acumulados em Circuitos Integrados, estes conseguem realizar tarefas de alta complexidade, como o caso do Circuito Integrado 555 representado na Figura 66 que entre outras coisas pode ser utilizado como cronometro ou oscilador. Veja, no no *link* do *Tinkercad* a seguir, um exemplo da utilização do Circuito Integrado 555, associado a outros componentes eletrônicos, para construção de um temporizador.

link: <https://www.tinkercad.com/things/jBzX9j9Wir7-temporizadorsharecode=bY7tNVKQ_GQI_JtdKkCh6B6VXEQu_qBylE6OstvFpdU>

Nessa simulação a luz vermelha acende durante o tempo de contagem do temporizador e a luz verde após a contagem do tempo. clique no botão para religar o temporizador, gire o potenciômetro no sentido horário para aumentar o tempo contado e gire no sentido anti-horário para diminuir o tempo.

Entre os Circuitos Integrados temos aqueles que funcionam como Portas Lógicas, eles possuem duas ou mais entradas e uma saída de informação para cada porta lógica contida no circuito. O Circuito Integrado que possui a porta *and* por exemplo só emite sinal “1” na saída de uma de suas Portas Lógicas se todas as entradas receberem sinal “1” simultaneamente. Na próxima aula, no momento A.6.2, veremos alguns destes Circuitos Integrados.

A.5.4 (Momento avaliativo - 15min.)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

Para o professor: O Apêndice D da dissertação traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.

A.6 Oficina 6 – Conhecendo os Circuitos Integrados de Portas Lógicas e a *protoboard*

Os objetivos dessa aula são:

- Entender como os Circuitos Integrados de Portas Lógicas funcionam.

- Entender como utilizar a *protoboard* para elaborar projetos de circuitos eletrônicos.

A.6.1 (Momento de Acolhida - 15min.)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.6.2 (1º Momento - 35min.): Como funcionam os Circuitos Integrados de Portas Lógicas

Para o professor: Procure indicar nos diagramas a entrada de potência (Vcc), o terra (Gnd) e as entradas e a saída de informação em cada porta do circuito.

A.6.2.1 Circuito Integrado *and*

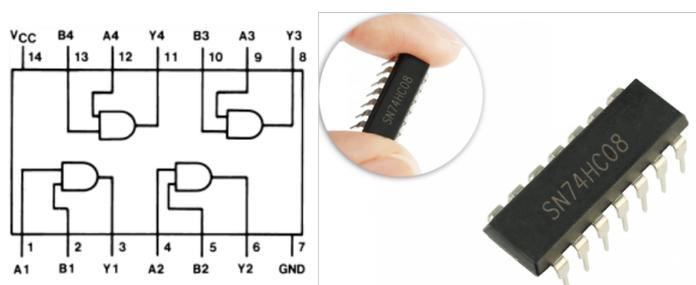


Figura 67 – Circuito Integrado 74HC08 - portas *and*

Fonte: <https://www.obaricentrodamente.com/2010/05/historia-do-computador-e-alguns-matematicos-que-contribuiram-para-seu-desenvolvimento.html> e <https://www.usinainfo.com.br/porta-logica/74hc08-circuito-integrado-porta-and-3945.html> Acesso em: 14 mar. 2024

link Tinkercad do Circuito Integrado com portas *and*:

link: https://www.tinkercad.com/things/8iyOdwUACMZ-circuito-integrado-and?sharecode=vb5vMa3tPWMDg_Zrr-bz0dhdjt1P0yBMnspTSMhyZ68

Simule o circuito e verifique a validade dos resultados obtidos na tabela verdade construída para a porta *and*, no exercício realizado no item A.4.3.

A.6.2.2 Circuito Integrado *nand*

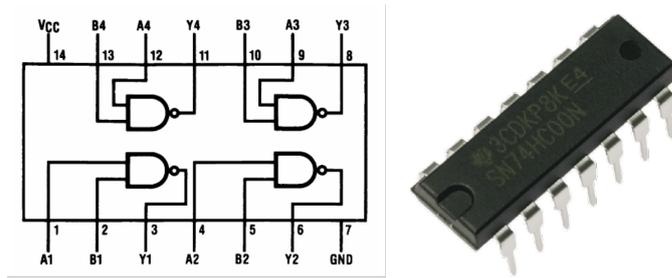


Figura 68 – Circuito Integrado 74HC00 - portas *nand*

Fonte: <<https://www.bragitoff.com/2015/01/74hc00-quad-2-input-nand-gate/>> Acesso em: 14 mar. 2024

link Tinkercad do Circuito Integrado com portas *nand*:

link: <https://www.tinkercad.com/things/g0hUqqWTfSt-circuito-integrado-nand?sharecode=wmoCyY7imYiWa6BoV2bA5r_BVg_0zKfNR3WtdiFTczI>

Simule o circuito e verifique a validade dos resultados obtidos na tabela verdade construída para a porta *nand*, no exercício realizado no item A.5.2.

A.6.2.3 Circuito Integrado *or*

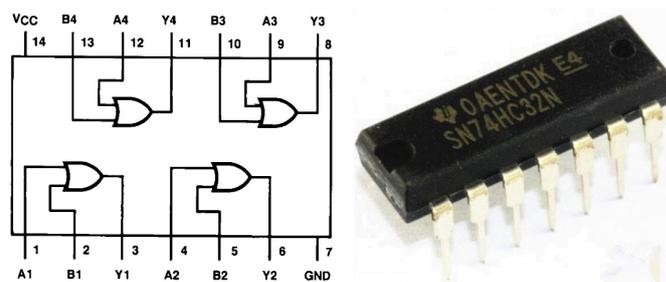


Figura 69 – Circuito Integrado 74HC32 - portas *or*

Fonte: <<https://robocon.vn/detail/ic19-ic-logic-74hc32-dip.html>> e <<https://www.turibot.es/ci-7432-74hc32-2uds>> Acesso em: 14 mar. 2024

link Tinkercad do Circuito Integrado com portas *or*:

link: <https://www.tinkercad.com/things/kgrfY3NmPIY-circuito-integrado-or?sharecode=lBnjA91jVt6uDQ3LgI_q13fD6xPkHZXFka8EChIM2W0>

Simule o circuito e verifique a validade dos resultados obtidos na tabela verdade construída para a porta *or*, no exercício realizado no item A.4.3.

A.6.2.4 Circuito Integrado *nor*

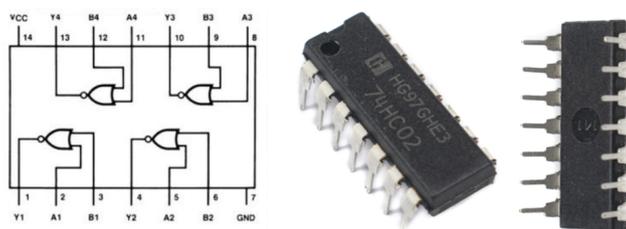


Figura 70 – **Circuito Integrado 74HC02 - portas *nor***

Fonte: <<https://www.electronicoscaldas.com/es/circuitos-digitales-74hc-series/98-compuertas-nor-74hc02.html>> e <<https://www.hnhcart.com/products/74hc02-quad-2-input-nor-gate>> Acesso em: 14 mar. 2024

link Tinkercad do Circuito Integrado com portas *nor*:

link: <<https://www.tinkercad.com/things/lATNhnkEQoR-circuito-integrado-nor?sharecode=undefined>>

Simule o circuito e verifique a validade dos resultados obtidos na tabela verdade construída para a porta *nor*, no exercício realizado no item A.5.2.

A.6.2.5 Circuito Integrado *xor*

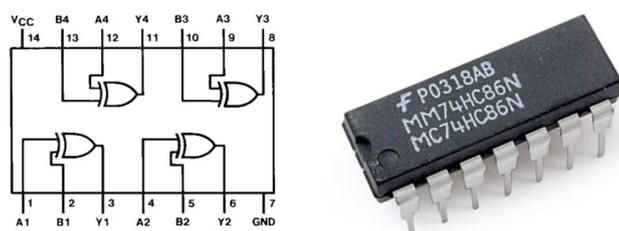


Figura 71 – **Circuito Integrado 74HC86 - portas *xor***

Fonte: <<https://muiravatco.blogspot.com/>> e <<https://www.turibot.es/ci-7486-74hc86-2uds>> Acesso em: 14 mar. 2024

link Tinkercad do Circuito Integrado com portas *xor*:

link: <https://www.tinkercad.com/things/9nAKGSbIJDI-circuito-integrado-xor?sharecode=JvagVKCE7_BqytDnwkeGTwP7RQsxrIaJWJ86HyqgZY>

Simule o circuito e verifique a validade dos resultados obtidos na tabela verdade construída para a porta *xor*, no exercício realizado no item A.5.2.

A.6.3 (2º Momento - 25min.): O que é e como usar a *protoboard*

A *protoboard* é uma placa perfurada utilizada para construção de circuitos eletrônicos para teste e estudo de projetos.

A.6.3.1 Vídeo: **Simulação de uma *protoboard*** (produzido pelo autor) – 4:45min.

link: <<https://youtu.be/FvRv6pwCKbw>>

Com este vídeo vamos aprender a utilizar a *protoboard* para a construção de circuitos.

Acesse o *link* do *Tinkercad* abaixo e simule o uso da *protoboard*.

link: <https://www.tinkercad.com/things/chCANWfslKp-como-usar-a-protoboar-dsharecode=dgYSslwq8kyHf67fiaICp3qVUR5hnnk8_Xdjrn4teqU>

Para o professor: Estimule os alunos a criarem circuitos com lâmpadas, relés, botões, interruptores e outros componentes, utilizando a *protoboard* simulada.

A.6.4 (3º Momento - 25min.): Painel de componentes eletrônicos para estudo da Lógica *Booleana* montado em *protoboard*

No *link* do *Tinkercad* abaixo está disponível o painel com componentes eletrônicos para montagem de circuitos. O aluno pode simular e copiar o projeto para realizar novas montagens.

A.6.4.1 *Protoboard* - painel

link: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painelsharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

Para entender melhor como utilizar o painel virtual montado na *protoboard* acima, o usuário pode consultar o manual oferecido no Apêndice E.

O projeto disponível no *link* a seguir, montado no painel proposto, exemplifica a utilização do painel na construção de circuitos.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/g0wCTjYgEOk-projeto-motor-horario-anti-horario-e-desliga?sharecode=VNF85byE9kzyikpNrSBVhyky8YsXUvDgLQRk33CKaIY>>

Acesse o *link* e pressione os botões para ligar e desligar os motores.

A.6.5 (Momento avaliativo - 15min.)

Momento destinado a comentários, discussões, impressões a respeito da aula e sugestões de aprimoramento do processo.

Para o professor: O Apêndice D da dissertação traz uma sugestão de condução do momento avaliativo por meio de perguntas motivadoras da discussão.

A.7 Oficina 7 – Utilizando a *protoboard* para construir circuitos eletrônicos

Os objetivos dessa aula são:

- Construir circuitos eletrônicos utilizando a *protoboard*
- Visualizar frases lógicas com o auxílio de circuitos criados no painel *protoboard*.

A.7.1 (Momento de Acolhida - 15min.)

Momento destinado a acolhida dos alunos, orientações sobre os momentos da aula e sobre a disposição dos alunos na sala de aula.

A.7.2 (1º Momento - 30min.): Acendendo um LED com relé na protoboard

A.7.2.1 Ligando um LED com um botão

Acesse o link do painel e clique em copiar e usar, para poder construir seu circuito utilizando o painel.

link: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painelsharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

Na primeira unidade do painel crie um circuito em que o clique de um botão aciona um LED. Construa um selo elétrico com um relé para que o LED permaneça aceso após o clique no botão.

Agora que você já criou o seu circuito, veja se ele ficou parecido com o circuito disponível no link a seguir.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/fc825wUmOHI-ligando-um-led-com-um-botao?sharecode=tqrTuKpsU4VG2odluoSP1aTlNlmELHZNReCaZFuHo3w>>

A.7.2.2 Desligando um LED com um botão

Agora vamos desligar o LED. Abra o arquivo que você construiu no item A.7.2.1 e acrescente outro relé e outro botão ao circuito, para romper o selo elétrico criado no circuito anterior e desligar o LED.

Agora que você já criou o seu circuito, veja se ele ficou parecido com o circuito disponível no link a seguir.

link: <https://www.tinkercad.com/things/bRseTbBOhwl-ligando-e-desligando-um-led-com-um-botaosharecode=YZowmEH52NIVfeFfdj3DfOZc9D5lnGWtYOq_qU2ZG1w>

A.7.3 (2º Momento - 30min.): Montando um circuito para acionamento de um motor com o painel montado na placa *protoboard*

Acesse o link do painel e clique em copiar e usar para poder construir seu circuito utilizando o painel.

link: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painelsharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

No painel crie um circuito em que o clique de um botão aciona um dos motores e o clique do segundo botão desliga este motor. Em seguida adicione, ao circuito, um *LED* que acende quando o motor está ligado.

Agora que você já criou o seu circuito, veja se ele ficou parecido com o circuito disponível no link a seguir.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/8XLYVqnS5V4-protoboard-painel-ligando-e-desligando-um-motor?sharecode=h5hFV4rTAn1vQCE6IrJgZljEoqANUR27R53G1p8YXsM>>

A.7.4 (3º Momento - 40min.): Criando um circuito para visualizar uma frase lógica, com o painel *protoboard*

Acesse o link do painel e clique em copiar e usar para poder construir seu circuito utilizando o painel.

link: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painelsharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

A.7.4.1 Acendendo *LED* com interruptores

Na segunda unidade do painel, chame os interruptores de A, B e C, da esquerda para a direita e monte um circuito na *protoboard* em que cada um deles acende um *LED*.

Agora que você já criou o seu circuito, veja se ele ficou parecido com o circuito disponível no link a seguir.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/2BhIUmXMc40-ligado-tres-leds-com-tres-interruptores?sharecode=cHuzPIAljOrE03bq0A859WW4FF-YpldOrsTCWfbJRDY>>

A.7.4.2 Montando uma frase lógica

No painel, chame os interruptores de A, B e C, da esquerda para a direita e crie um circuito com eles e com os Circuitos Integrados de Portas Lógicas para representar a frase lógica:

$$\neg (A \wedge B) \wedge C$$

Para o professor: Oriente os alunos de que a frase lógica pode ser representada utilizando os interruptores A e B em duas entradas de uma porta *nand* e a saída dessa porta *nand* com o interruptor C nas entradas de uma porta *and* e a saída desta porta no *LED*. Além disso, mencione que a expressão $\neg (A \wedge B) \wedge C$ pode ser reescrita como $(A \text{ nand } B) \text{ and } C$.

Agora que você já criou o seu circuito, veja se ele ficou parecido com o circuito disponível no link a seguir.

link: <https://www.tinkercad.com/things/lwKGWUiEGkH-a-nand-b-and-csharecode=MVeVx1_4GEBxKNWNekEv3B72HYqFNpo_3uUT8vxIovc>

A.7.4.3 Preenchendo a tabela verdade

Utilize a simulação realizada em A.7.4.2 para completar a tabela verdade abaixo:

A	B	C	$(A \wedge B)$	$\neg (A \wedge B)$	$\neg (A \wedge B) \wedge C$
0	0	0	0	1	
0	0	1	0	1	
0	1	0	0	1	
0	1	1	0	1	
1	0	0	0	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	1	0	
1	1	1	1	0	

Tabela 23 – **Tabela verdade:** $\neg (A \wedge B) \wedge C$

Fonte: Produzida pelo autor

Para o professor: A sequência correta de preenchimento da sexta coluna da tabela deve ser: 0 1 0 1 0 1 0 0

A.7.5 (Momento avaliativo - 15min.)

Neste momento, realize a avaliação observando a sequência didática e não apenas a Oficina A.7. Mediando comentários, discussões e impressões a respeito da aula e da sequência além de sugestões de aprimoramento do processo como um todo.

Para o professor: O Apêndice D da dissertação traz uma sugestão de condução do momento avaliativo, dessa vez utilize-o para direcionar o encerramento da sequência, por meio de perguntas motivadoras da discussão.

APÊNDICE B – Atividade 01

Atividade 01	
Escola:	Data: / /
Professor(a):	Turma:
Aluno:	

Este exercício é referente às simulações realizadas no item A.4.3 da sequência didática disponível no Anexo A.

B.1 Exercício - 01

Observe a simbologia apresentada na primeira coluna da tabela e a operação lógica apresentada na segunda. Em seguida preencha a terceira e a quarta colunas com o nome da porta lógica e a cor do circuito que a representa. Utilize os circuitos simulados no item A.4.3 da Oficina A.4 disponíveis no *link*: <<https://www.tinkercad.com/things/iqdQfc16Z8m-portas-logicas-not-and-or-com-reles?sharecode=AM28UJiTNdzevbvESGi-6qfbsMTSkW98RA72jJOLNmw>>.

Simbologia MIL	Operação Lógica	Nome da Porta Lógica	Cor do Circuito
	$A \wedge B$		
	$A \vee B$		
	$\neg A$		

Tabela 24 – **Exercício 01 - Portas Lógicas Básicas**
 Fonte: Produzida pelo autor

B.2 Exercício - 02

Preencha as tabelas verdade dos conectivos lógicos abaixo. Use “1” quando o interruptor estiver fechado e “0” quando o interruptor estiver aberto. Use “1” para luz acesa e “0” para luz apagada.

Tabelas Verdade - Portas Lógicas Básicas

Porta <i>and</i>		
A	B	$A \wedge B$

Porta <i>or</i>		
A	B	$A \vee B$

Porta <i>not</i>	
A	$\neg A$

Tabela 25 – **Exercício 02 - Portas Lógicas Básicas**

Fonte: Produzida pelo autor

APÊNDICE C – Atividade 02

Atividade 02	
Escola:	Data: / /
Professor(a):	Turma:
Aluno:	

Este exercício é referente às simulações realizadas no item A.5.2 da sequência didática disponível no Anexo A.

C.1 Exercício - 01

Observe a simbologia apresentada na primeira coluna da tabela e a operação lógica apresentada na segunda. Em seguida preencha a terceira e a quarta colunas com o nome da porta lógica e a cor do circuito que a representa. Utilize os circuitos simulados no item A.5.2 da Oficina A.5 disponíveis no *link*: <<https://www.tinkercad.com/things/7f0xEwsHB3k-portas-logicas-not-and-or-nand-nor-xor-com-reles-?sharecode=BDQrkF850FMa0iarRjTRYDVCD5fgmtBmWnq6I-ouiBs>>

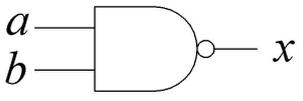
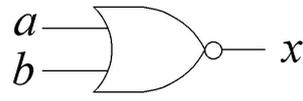
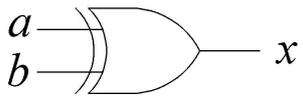
Simbologia MIL	Operação Lógica	Nome da Porta Lógica	Cor do Circuito
	$\neg (A \wedge B)$		
	$\neg (A \vee B)$		
	$A \underline{\vee} B$		

Tabela 26 – Exercício 01 - Portas Lógicas Derivadas

Fonte: Produzida pelo autor

C.2 Exercício - 02

Preencha as tabelas verdade dos conectivos lógicos abaixo. Use “1” quando o interruptor estiver fechado e “0” quando o interruptor estiver aberto. Use “1” para luz acesa e “0” para luz apagada.

Para o professor: Mostre aos alunos que os resultados da Tabela *nand* e da Tabela *nor* são opostos dos resultados das tabelas *and* e *or*.

Tabelas Verdade - Portas Lógicas Derivadas

Porta <i>nand</i>			Porta <i>nor</i>			Porta <i>xor</i>		
<i>A</i>	<i>B</i>	$\neg (A \vee B)$	<i>A</i>	<i>B</i>	$\neg (A \wedge B)$	<i>A</i>	<i>B</i>	$A \underline{\vee} B$

Tabela 27 – **Exercício 02 - Portas Lógicas Derivadas**
 Fonte: Produzida pelo autor

APÊNDICE D – Avaliação

Segue uma sugestão de avaliação para o final de cada aula e para o final da sequência didática, fica a cargo do professor dar o direcionamento aos alunos sobre responderem com relação à aula ao final de cada aula e responderem com relação a sequência como um todo ao final da última aula da sequência. Recomendamos que seja entregue impressa para os alunos ou reescrita em formato de *quiz* para ser respondido online, com ou auxílio de *softwares* como o *Google Docs*, por exemplo. Tais mecanismos facilitam a colheita dos dados estatísticos e a utilização dos mesmo para a melhoria do processo. Após o preenchimento anônimo do formulário, conduza uma discussão em sala sobre as impressões dos alunos e sobre as sugestões de melhoria.

A primeira, a segunda e a sexta questões investigam as impressões dos alunos sobre o produto didático oferecido. A terceira questão busca as impressões sobre o a condução do processo de ensino-aprendizagem por parte do professor. A quarta e a quinta questões são autocríticas e buscam conscientizar o aluno da sua responsabilidade no processo, para seu resultado e para o resultado do grupo. A última questão busca a impressão do aluno sobre a importância da aula para a sua formação.

Todas as questões oferecem, à esquerda, uma avaliação objetiva do processo para obtenção rápida de dados relativos às impressões dos alunos sobre o processo. E, à direita, uma avaliação discursiva que permite uma discussão mais qualitativa e analítica do processo.

Avaliação	
<p>1. Você gostou do conteúdo da aula?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Comente sobre a relevância deste conteúdo para você.</p>
<p>2. Você gostou da metodologia utilizada na aula?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Como melhorar a metodologia da aula?</p>
<p>3. Você gostou da forma com a qual seu professor conduziu a aula?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Como o professor pode melhorar a condução da aula?</p>
<p>4. Você gostou do seu desempenho na aula?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>O que você pode fazer para melhorar seu desempenho?</p>
<p>5. Você gostou do desempenho geral da turma?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>O que você pode fazer para melhorar o desempenho da turma?</p>
<p>6. Os tempos destinados a cada momento da aula foram adequados?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Quais ajustes você sugere?</p>
<p>7. A aula de hoje foi relevante para você? Você recomendaria essa sequência didática?</p>  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Deixe seu comentário.</p>

Tabela 28 – Avaliação
 Fonte: Produzida pelo autor

APÊNDICE E – Manual: *Protoboard* - painel

O projeto proposto a seguir é um dos produtos didáticos oferecido pela dissertação de mestrado: *Conceitos de Lógica na Educação Básica por meio de Relés e Interruptores*, autor: Bruno dos Santos Carvalho, orientadora: Dra. Thaynara Arielly de Lima. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional da Sociedade Brasileira de Matemática, realizado pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Matemática, no ano de 2024.

Além deste manual, a mesma dissertação produziu também uma sequência didática (Apêndice A), na qual, entre outras atividades, promove o uso de uma versão virtual do painel detalhado neste manual. Pretende-se que tais atividades possam ser reproduzidas na versão física do painel.

Este produto, consiste em um painel montado com três unidades de placa de ensaio *protoboard*. Uma primeira unidade com relés, motores, botões e *LED*, para ensaios de acionamento com relés. Uma segunda unidade com Circuitos Integrados de Portas Lógicas, interruptores e *LED*, para construção de frases lógicas. E uma terceira unidade de apoio para construções que envolvam a inserção de outros componentes em projetos futuros. Nesta terceira unidade é prevista a montagem de um temporizador.



RISCO ELÉTRICO: Apesar dos componentes eletrônicos serem de baixa tensão, a alimentação da fonte em tomadas residenciais de 127V ou 220V requerem cuidado especial quanto ao risco de choque elétrico. As atividades práticas envolvendo eletricidade devem ser monitoradas por adulto responsável.

ATENÇÃO: As conexões elétricas dos componentes devem ser feitas seguindo-se as recomendações do manual para evitar a queima de componentes.

Este projeto é original e ainda não foi implementado, nem mesmo em protótipo; foi apenas simulado no protótipo virtual disponibilizado. Para sua implementação recomendamos o estudo da simulação virtual e a construção de protótipo para testes.

E.1 Lista de componentes

A seguir listaremos os componentes e as quantidades previstas, de cada componente, para cada painel montado.

Protoboard de 830 pontos - 3 peças.

As peças *protoboard* servirão como base de montagem dos demais componentes para composição das unidades do painel.

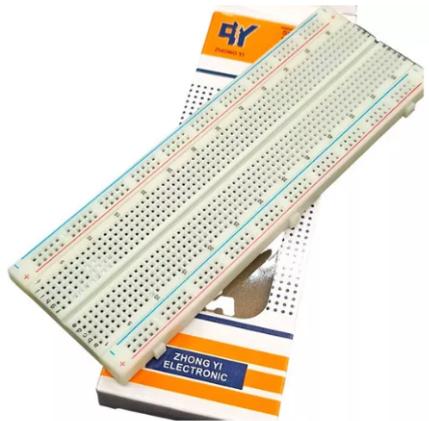


Figura 72 – **Protoboard 830 pontos**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

Relé DPDT - 5 peças.

As peças ficarão dispostas no conjunto montado na primeira unidade *protoboard*.

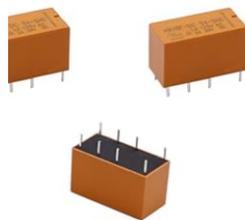


Figura 73 – **Relé DPDT**

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

Botão de 4 pinos - 5 peças.

Três peças ficarão dispostas no conjunto montado na primeira unidade *protoboard*, para construção de circuitos com relés. Uma peça ficará na unidade de apoio para acionamento do temporizador. Uma peça é extra para projetos futuros.



Figura 74 – Botão 4 pinos

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Interruptor de dois contatos - 4 peças.

Três peças ficarão dispostas no conjunto montado na segunda unidade *protoboard*, para construção de frases lógicas com circuitos integrados. Uma peça é extra para projetos futuros.



Figura 75 – Interruptor de 2 contatos

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

LED - 18 peças.

Seis peças ficarão dispostas no conjunto montado na primeira unidade *protoboard*, para visualização do funcionamento de relés. Seis peças ficarão dispostas no conjunto montado na segunda unidade, para visualização de frases lógicas construídas com Circuitos Integrados. Duas peças ficarão dispostas na terceira unidade para visualização do funcionamento do temporizador. Quatro peças são extras para projetos futuros.

Figura 76 – **LED**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Motor - 2 peças.

As peças ficarão dispostas no conjunto montado na primeira unidade *protoboard* para serem acionadas por relés.

Figura 77 – **Motor**

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Resistor 200Ω - 18 peças.

Quatorze peças ficarão associadas em série com as quatorze peças *LED* montadas nas placas. E quatro peças são extras para projetos futuros.

Figura 78 – **Resistor**

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Capacitor $100\mu F$ - 3 peças.

Uma peça será instalada no temporizador montado na terceira unidade *protoboard*.
E duas peças serão extras para projetos futuros.

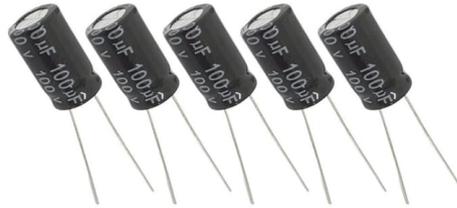


Figura 79 – Capacitor

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Potenciômetro - 2 peças.

Uma peça será instalada no temporizador montado na terceira unidade *protoboard*.
E uma peça é extra para projetos futuros.



Figura 80 – Potenciômetro

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 555 (cronômetro) - 1 peça.

A peça será instalada no temporizador montado na terceira unidade *protoboard*.



Figura 81 – **Circuito Integrado 555**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 74HC32 (Portas Lógicas *or*) - 1 peça.

Peça instalada na segunda unidade *protoboard* para construção de frases lógicas.

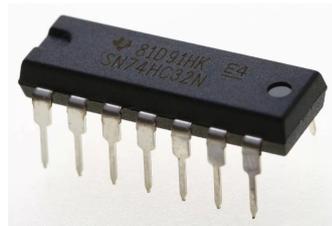


Figura 82 – **Circuito Integrado 74HC32**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 74HC02 (Portas Lógicas *nor*) - 1 peça.

Peça instalada na segunda unidade *protoboard* para construção de frases lógicas.



Figura 83 – **Circuito Integrado 74HC02**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 74HC86 (Portas Lógicas *xor*) - 1 peça.

Peça instalada na segunda unidade *protoboard* para construção de frases lógicas.



Figura 84 – **Circuito Integrado 74HC86**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 74HC08 (Portas Lógicas *and*) - 1 peça.

Peça instalada na segunda unidade *protoboard* para construção de frases lógicas.



Figura 85 – **Circuito Integrado 74HC08**

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Circuito Integrado 74HC00 (Portas Lógicas *nand*) - 2 peças.



Figura 86 – **Circuito Integrado 74HC00**

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

Uma Peça instalada na segunda unidade *protoboard* para construção de frases lógicas. Uma peça instalada no temporizador.

Cabo macho - 30 peças de tamanhos variados.

As peças serão utilizadas para montagens dos circuitos, serão inseridas nos furos da placa de modo a estabelecer conexões elétricas entre os barramentos da placa, algumas estarão fixas para manter a energização das placas e as montagens fixas, como as do temporizador. Mas a maioria é para uso durante a construção de circuitos.

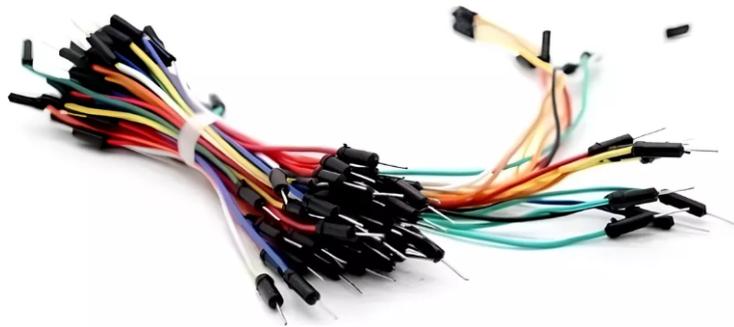


Figura 87 – **Cabo macho**

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

Fonte para *protoboard* - 1 peças.

Peça alimentada por *USB*, utilizada para fornecer alimentação elétrica para a *protoboard*.



Figura 88 – **Fonte para *protoboard***

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

E.2 Projeto de montagem

As instruções de montagem devem ser obedecidas, para que as simulações estudadas na sequência didática oferecida no Apêndice A possam ser reproduzidas no painel físico e para que as instruções previstas no item E.3 sejam fidedignas. Os desenhos das instruções de montagem estão disponíveis no item E.2.7.

E.2.1 Protótipo virtual

O painel, pode visualizado e experimentado em um protótipo virtual, disponível no aplicativo *Tinkercad*. Este protótipo foi criado no intuito de facilitar a compreensão do esquema de montagem do painel e como forma de fornecer um ensaio de suas funcionalidades. Além disso o mesmo é utilizado na sequência didática que nasceu da mesma pesquisa que este manual. O protótipo virtual pode ser acessado por meio do *link*: <https://www.tinkercad.com/things/em9RZNkjKpt-protoboard-painelsharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>.

E.2.2 Placas *protoboard* - Placa virtual e placa disponível no mercado

Para nos localizarmos na placa *protoboard*, vamos considerá-la na posição horizontal e identificar os pontos eletricamente conectados como barramentos.

O modelo de placa adotado na proposta possui 830 furos dispostos em 126 barramentos verticais de 5 furos (transversais a placa) e 4 barramentos horizontais de 50 furos (longitudinais a placa).

Os barramentos verticais estão agrupados em 63 pares de barramentos numerados de 5 em 5, alinhados verticalmente. E os barramentos horizontais estão presentes dois pares de barramentos paralelos, um na parte superior e outro na parte inferior da placa. Cada par apresenta um barramento designado pelo sinal (+) e um barramento designado pelo sinal (-), estes são destinados a alimentação elétrica da placa.

As placas *protoboard* encontradas na pesquisa, tanto as placas físicas quanto a placa simulada no *Tinkercad*, apresentam pares de barramentos numerados de 0 a 61¹, no entanto, as duas apresentam um par de barramentos anterior ao par de número 0, que não é numerado. Para facilitar a localização dos itens neste projeto, chamaremos o primeiro

¹ Na placa simulada a numeração começa do número 1 e a partir de então são numerados os barramentos múltiplos de 5 até o barramento 60. Nas placas físicas disponíveis nas lojas virtuais pesquisadas, a numeração começa do par de barramento de número 0 e vai de 5 em 5 até o 60. Mas as posições dos primeiros 63 pares de barramentos são coincidentes, nas placas físicas e na placa simulada

par barramentos verticais da placa de barramento α , o segundo de 0, o terceiro será o par de barramentos 1 e assim sucessivamente até o penúltimo par da placa simulada, que será o par de barramentos de número 61, assim coincidindo com a numeração grafada na placa para os barramentos de número múltiplo de 5. Após o par de barramentos de número 60, a placa simulada apresenta mais dois pares, totalizando 64 pares de barramentos de 5 furos cada, enquanto nas placas disponíveis no mercado há apenas mais um par de barramentos após o par 60. totalizando 63 pares de barramentos de 5 furos cada. Dada essa incoerência no último par de barramentos verticais da placa simulada, ele não será utilizado nas simulações, para que qualquer simulação proposta possa ser realizada com os 63 primeiros pares de barramentos, podendo ser reproduzida na placa física. Cada furo do par de barramentos é identificado com as letras de A a J. de modo que uma associação de letra e número identifica biunivocamente um furo na placa, assim como na linguagem de matrizes, facilitando a identificação das posições dos furos. Caso a posição dos furos no modelo de placa que você adquirir for diferente, compare as duas, revise as posições do projeto e faça as devidas adaptações antes de realizar a montagem.

E.2.3 Identificação das posições dos furos na placa

As posições dos furos pertencentes aos barramentos horizontais só são especificadas quanto ao potencial do barramento, que é positivo (ou potência), designado por (+). Ou negativo (ou terra) designado por (-).

As **posições dos furos** pertencentes ao conjunto de barramentos verticais são identificadas com **uma letra maiúscula e um número**. A letra é referente a linha (alinhamento horizontal) onde o furo está. E o número é referente ao par de barramentos de 5 furos cada (alinhamento vertical de furos) onde o ponto está. Tal como uma matriz onde as linhas são descritas por letras maiúsculas de A a J e para as colunas, temos a primeira designada por α e as próximas designadas por números de 0 a 61. Conforme a Figura 91. O furo que está na segunda linha e no quarto barramento vertical é designado por “B2”, por exemplo. Como a conexão de qualquer ponto do barramento transfere o mesmo potencial a qualquer um dos pontos deste barramento, é útil muitas vezes nos referirmos ao **barramento** em vez de nos referirmos a um ponto específico, por isso utilizaremos a letra “**i**” **minúscula** para nos referirmos ao **barramento** que está na parte **inferior** do par de barramentos verticais e a letra “**s**” **minúscula** para nos referirmos ao **barramento** que está na parte **superior** do par. Seguidas do número referente ao par. “s2” por exemplo, designa o barramento que contém os pontos A2, B2, C2, D2 e E2. E “i2” por exemplo

designa o barramento que contém os pontos F2, G2, H2, I2 e J2.

O vídeo disponível no *link*: <<https://youtu.be/FvRv6pwCKbw>> pode te ajudar a compreender como a placa funciona.

E.2.4 Primeira unidade do painel

Para montagem da primeira unidade do painel, conecte 5 relés, 6 *LED*, 6 resistores, 2 motores e 3 botões, nas posições especificadas na Figura 92.

E.2.4.1 Relés

Os relés possuem 8 terminais separados em dois grupos: um de dois terminais para ligação da bobina e um grupo de 6 terminais comandados pela ligação do relé. Posicione o relé de modo que o par de terminais da bobina fique à direita. Colocados, os relés, nesta orientação conecte-os nas posições a seguir:

- **Relé 1** entre os furos E α e F6.
- **Relé 2** entre os furos E7 e F14.
- **Relé 3** entre os furos E15 e F22.
- **Relé 4** entre os furos E23 e F30.
- **Relé 5** entre os furos E31 e F38.

E.2.4.2 *LED*

Oriente cada *LED* de modo que de modo que o ânodo (+) fique a direita e o cátodo (-) fique a esquerda. Em seguida conecte os seus terminais nos pontos descritos a seguir:

- ***LED* 1** entre os furos A50 e A51.
- ***LED* 2** entre os furos A55 e A56.
- ***LED* 3** entre os furos A60 e A61.
- ***LED* 4** entre os furos F50 e F51.
- ***LED* 5** entre os furos F55 e F56.
- ***LED* 6** entre os furos F60 e F61.

E.2.4.3 Resistores

Conecte os resistores para ficarem em série com cada *LED* nas montagens dos circuitos. Insira os resistores nas posições determinadas a seguir.

- B47 e B51.
- B52 e B56.
- B57 e B61.
- G47 e G51.
- G52 e G56.
- G57 e G61.

E.2.4.4 Motores

Os motores devem ter seus terminais posicionados nos pontos descritos abaixo:

- **Motor 1** entre os furos A10 e A12.
- **Motor 2** entre os furos A26 e A28.

E.2.4.5 Botões

Direcione os botões na vertical, com as extremidades de onde saem os contatos voltadas para cima e para baixo. Em seguida posicione os botões entre os furos indicados abaixo:

- **Botão 1** entre os furos E40 e F42.
- **Botão 2** entre os furos E43 e F45.
- **Botão 3** entre os furos E46 e F48.

Conecte os barramentos horizontais de mesmo potencial (+ com + e - com -), para garantir a energização de todos os barramentos horizontais no momento da utilização da Unidade 01 do painel.

Conecte a fonte de energia elétrica em um par de barramentos horizontais dessa unidade. Para garantir a alimentação elétrica do painel.

E.2.5 Segunda unidade do painel

Para montagem da segunda unidade do painel, conecte 3 interruptores, 6 *LED*, 6 resistores e os Circuitos Integrados (CI) 74HC32, 74HC02, 74HC86, 74HC08 e 74HC00 das Portas Lógicas *or*, *nor*, *xor*, *and*, *nand*, respectivamente, nas posições especificadas na Figura 93.

E.2.5.1 Interruptores

Posicione os interruptores de modo que o movimento do cursor (on/off) ocorra na vertical, um par de seus terminais seja direcionado para cima e o outro para baixo. Em seguida conecte os interruptores conforme a especificação abaixo:

- **Interruptor 1** entre os furos E α e F0.
- **Interruptor 2** entre os furos E2 e F3.
- **Interruptor 3** entre os furos E5 e F6.

E.2.5.2 *LED*

Oriente cada *LED* de modo que o ânodo (+) fique a direita e o cátodo (-) fique a esquerda. Em seguida conecte os seus terminais nos pontos descritos a seguir:

- ***LED* 7** entre os furos A50 e A51.
- ***LED* 8** entre os furos A55 e A56.
- ***LED* 9** entre os furos A60 e A61.
- ***LED* 10** entre os furos F50 e F51.
- ***LED* 11** entre os furos F55 e F56.
- ***LED* 12** entre os furos F60 e F61.

E.2.5.3 Resistores

Conecte os resistores para ficarem em série com cada *LED* nas montagens dos circuitos. Insira os resistores nas posições determinadas a seguir.

- B47 e B51.

- B52 e B56.
- B57 e B61.
- G47 e G51.
- G52 e G56.
- G57 e G61.

E.2.5.4 Circuitos Integrados (CI)

Direcione os (CI) horizontalmente com rebaixo em forma de semi-circulo posicionado para a esquerda e então conecte os (CI) na placa conforme a descrição abaixo:

- **CI 74HC32** entre os furos E8 e F14
- **CI 74HC02** entre os furos E16 e F22
- **CI 74HC86** entre os furos E24 e F30
- **CI 74HC08** entre os furos E32 e F38
- **CI 74HC00** entre os furos E40 e F46

Conecte os barramentos horizontais de mesmo potencial (+ com + e - com -), para garantir a energização de todos os barramentos horizontais no momento da utilização da unidade 02 do painel.

Conecte um par de barramentos horizontais dessa placa em um par de barramentos horizontais da Unidade 01, para garantir a energização desta placa.

E.2.6 Terceira unidade do painel

Para montagem da terceira unidade do painel, conecte o potenciômetro, o capacitor, o botão, o (CI) 555 (cronômetro), o (CI) 74HC00 (portas *nand*), 2 *LED*, 2 resistores e as conexões entre barramentos, nas posições especificadas na Figura 94, para montar o temporizador. Conecte os componentes entre os furos descritos abaixo:

- **Potenciômetro** entre os furos A42 e A44 (com o eixo do cursor orientado para o usuário, obviamente).

- **Capacitor** polo negativo (-) em A49 e polo positivo (+) em A 51.
- **Botão** entre os furos E39 e F41.
- **CI 555** entre os furos E45 e F48 (semi-circulo para a esquerda).
- **CI 74HC00** entre os furos E52 e F58 (semi-circulo para a esquerda).
- **LED 13** cátodo (-) em F49 e ânodo (+) em F50.
- **LED 14** cátodo (-) em F60 e ânodo (+) em F61.
- **Resistor** entre os furos H47 e H51.
- **Resistor** entre os furos H52 e H61.
- **Conexão** entre os furos A39 e (-)
- **Conexão** entre os furos A59 e (-)
- **Conexão** entre os furos J45 e (-)
- **Conexão** entre os furos J49 e (-)
- **Conexão** entre os furos J58 e (-)
- **Conexão** entre os furos J60 e (-)
- **Conexão** entre os furos A52 e (+)
- **Conexão** entre os furos J48 e (+)
- **Conexão** entre os furos J51 e (+)
- **Conexão** entre os furos B43 e B52
- **Conexão** entre os furos C43 e C45
- **Conexão** entre os furos C46 e C47
- **Conexão** entre os furos C49 e C59
- **Conexão** entre os furos D42 e D46
- **Conexão** entre os furos D47 e D51
- **Conexão** entre os furos G41 e G46

- **Conexão** entre os furos G47 e G55
- **Conexão** entre os furos I50 e I51

Na lista acima, (+) representa qualquer ponto do barramento ligado ao polo positivo da fonte e (-) representa qualquer ponto do barramento ligado ao polo negativo (neutro ou terra) da fonte.

Conecte os barramentos horizontais de mesmo potencial (+ com + e - com -), para garantir a energização de todos os barramentos horizontais no momento da utilização da unidade 03 do painel.

Os demais pontos da Unidade 03 ficarão livres para elaboração de projetos futuros.

Só conecte os barramentos horizontais da unidade 03 aos barramentos horizontais da unidade 02 no momento da utilização. A energização unidade 03 liga automaticamente o temporizador montado nela.

E.2.7 Desenhos do Projeto de montagem

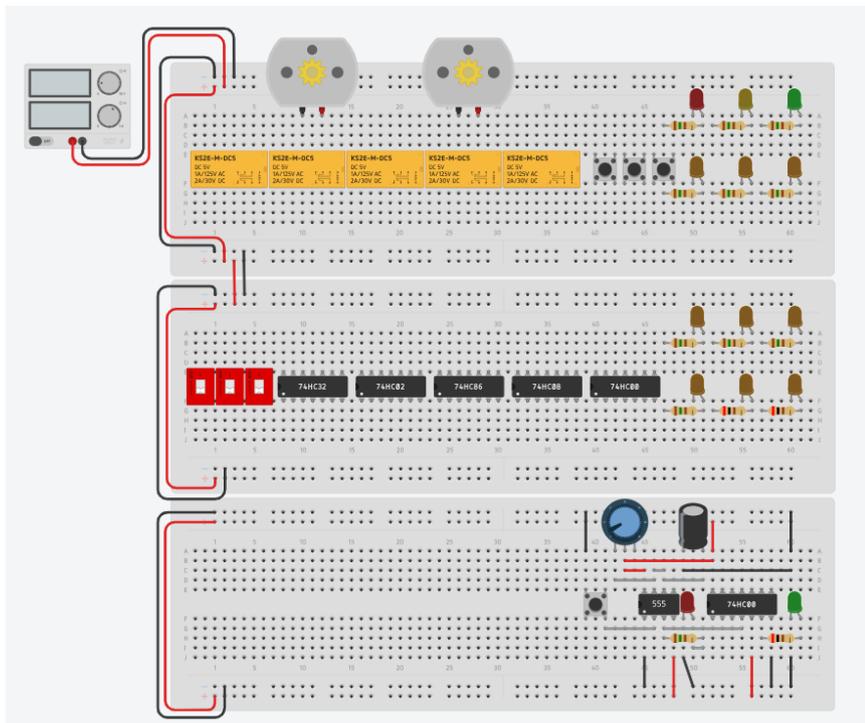


Figura 89 – **Protótipo disponível no *Tinkercad***

Fonte: Produzida pelo autor

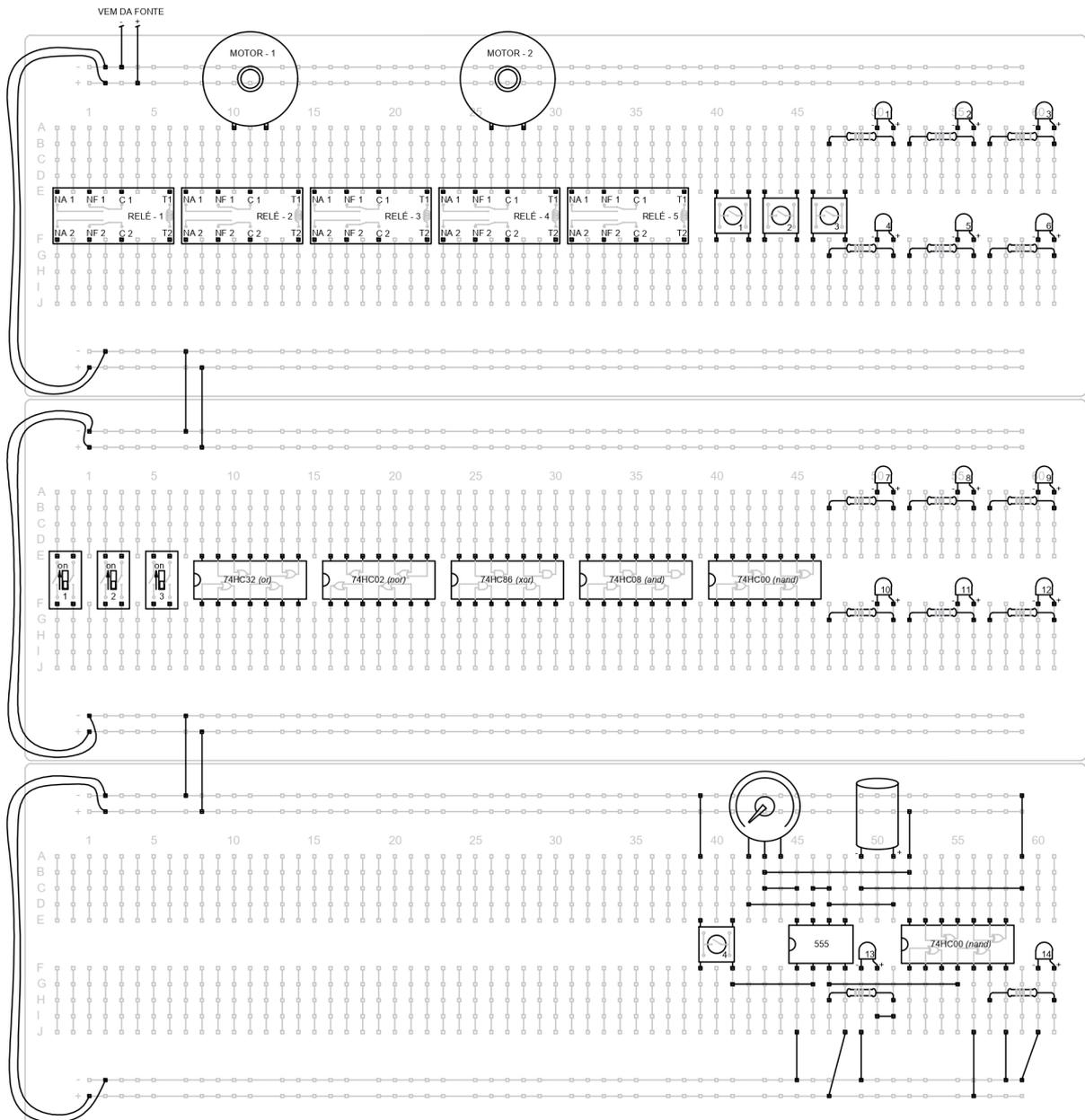
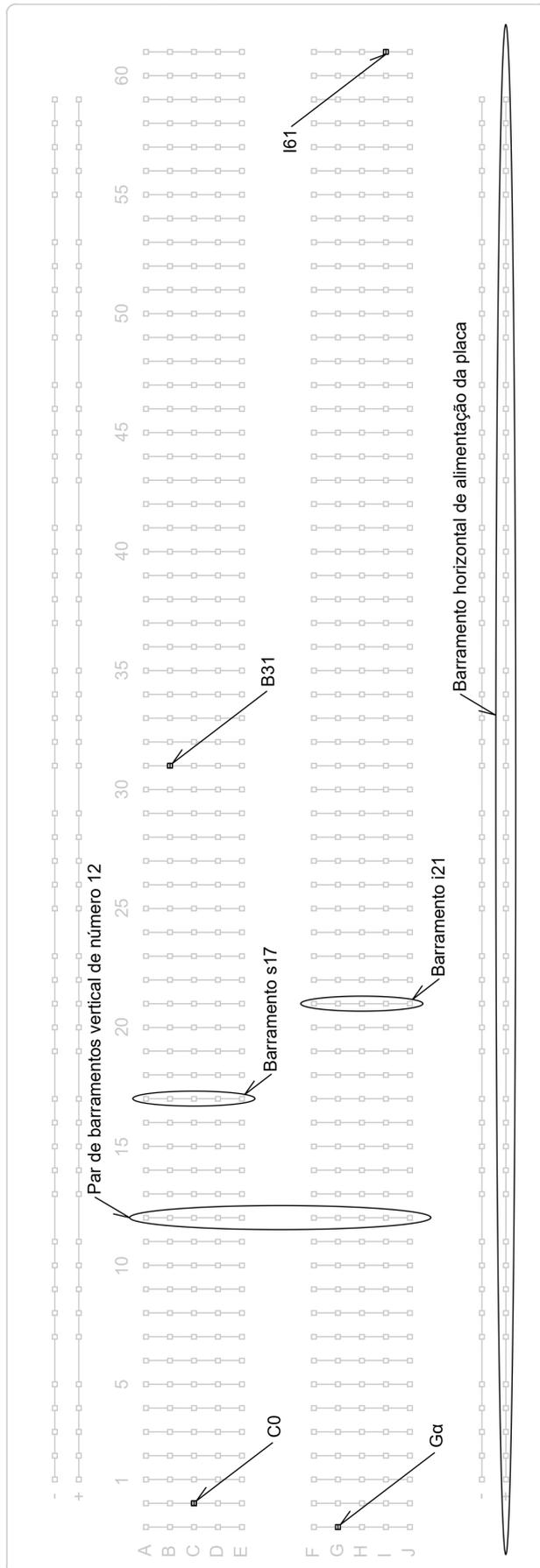


Figura 90 – *Protoboard* - Painel (3 unidades)

Fonte: Produzida pelo autor

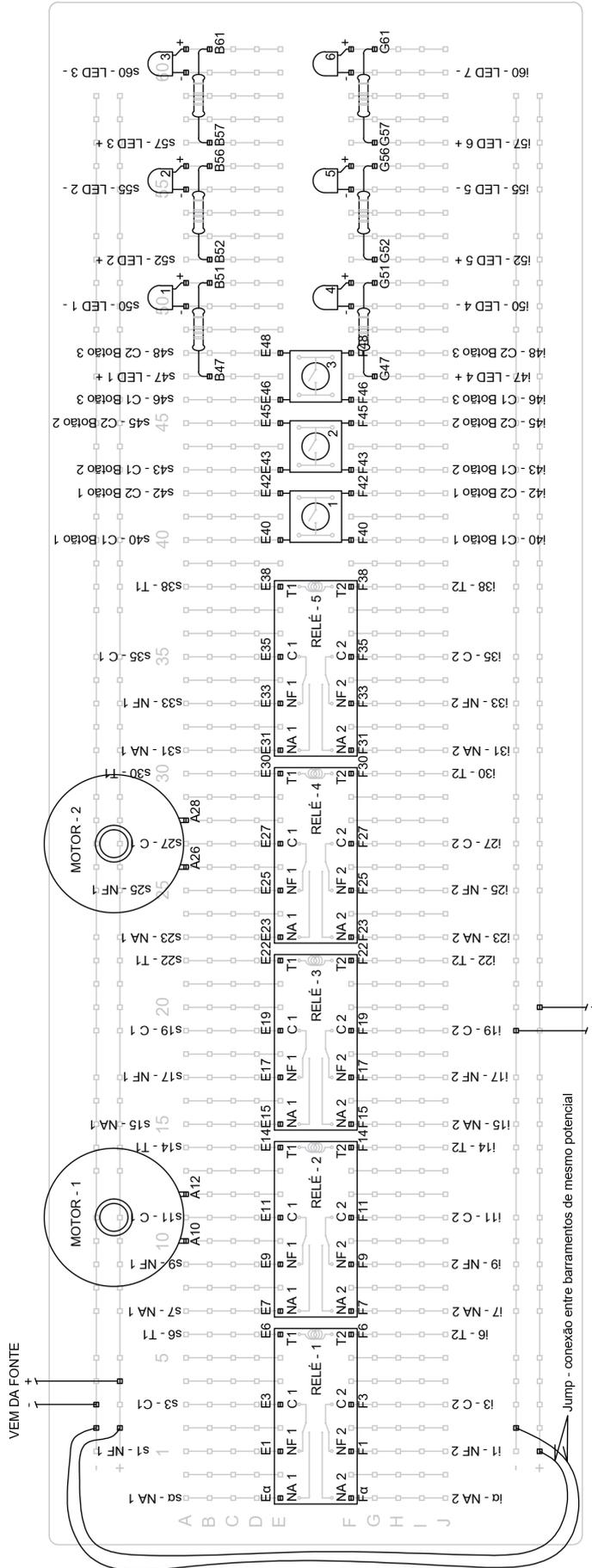


Legenda:

- - Barramento
- - Furo para conexão
- - Furo conectado
- s - Barramentos com pontos ABCDE
- i - Barramentos com pontos FGHJ

Protoboard - Localização e simbologia

Figura 91 – Localização e simbologia Leia na horizontal
 Fonte: Produzida pelo autor



Legenda:

- NA - Contato normalmente aberto
 - NF - Contato normalmente fechado
 - C - Contato comum
 - T - Terminal da bobina do relé
 - + - Polo positivo ou ânodo
 - - Polo negativo ou cátodo
-
- - Barramento
 - - Furo para conexão
 - - Furo conectado
 - s - Barramentos com pontos ABCDE
 - i - Barramentos com pontos FGHIJ
 - - Conexão entre barramentos
-
- LED
 - Resistor
 - Botão

**Protoboard - Painel (Unidade 01)
RELÉS E BOTÕES**

Figura 92 – Painel - Unidade 01 Leia na horizontal
Fonte: Produzida pelo autor

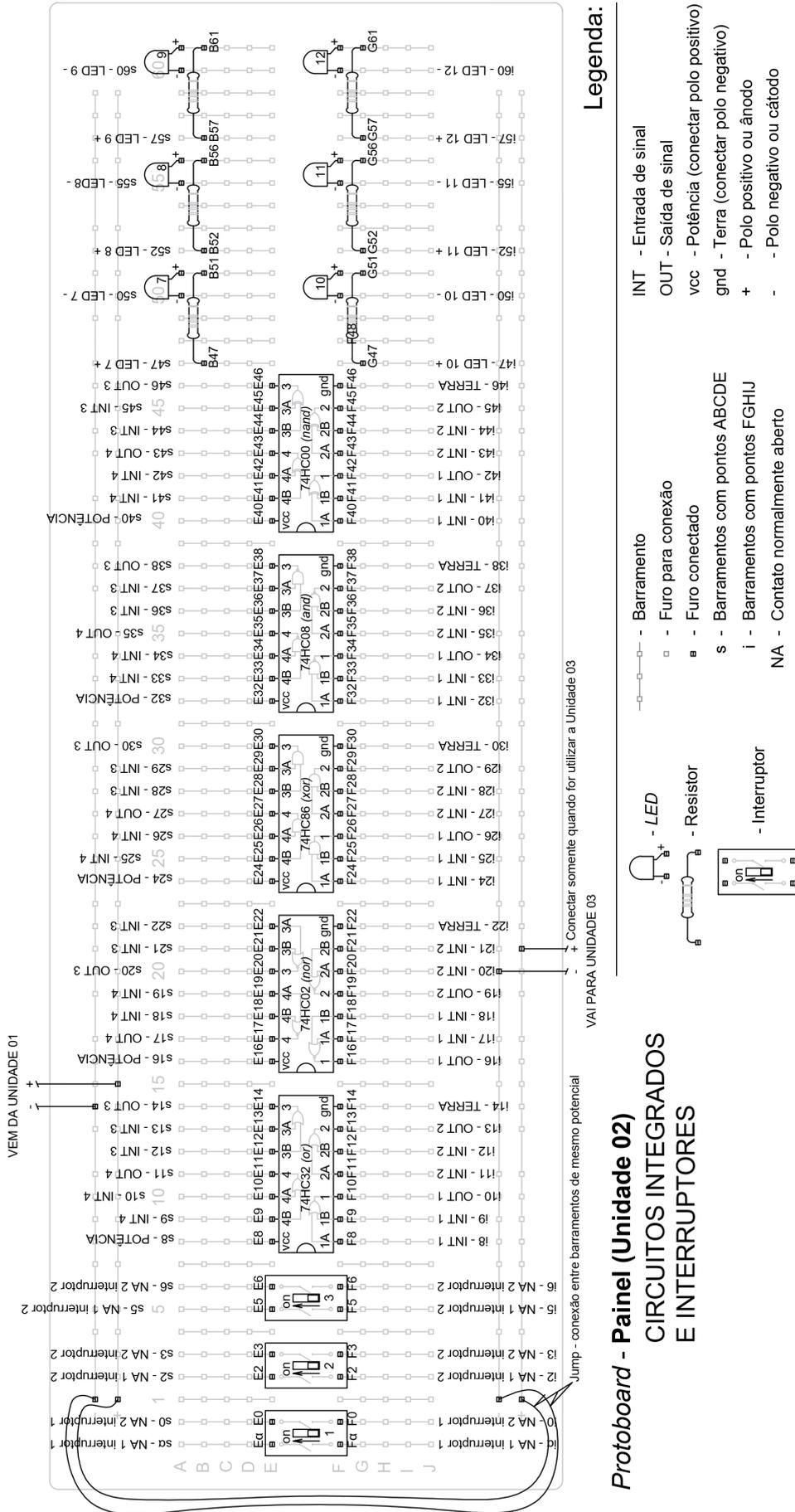
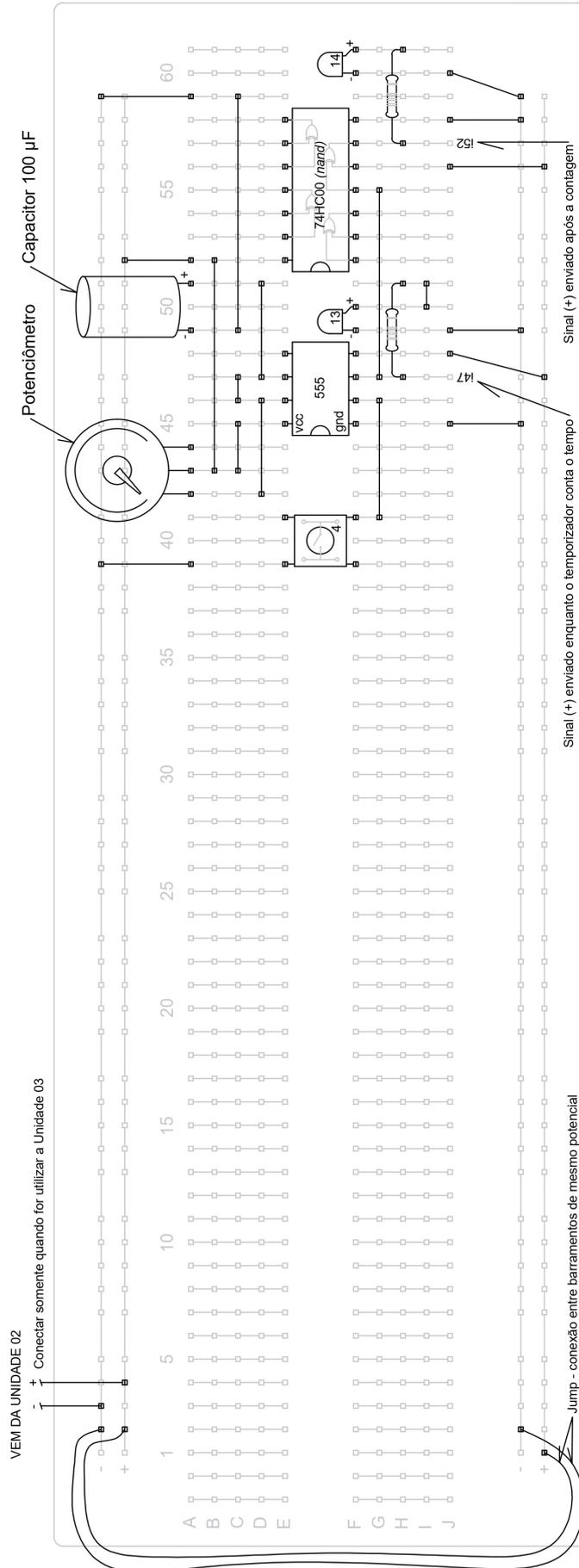


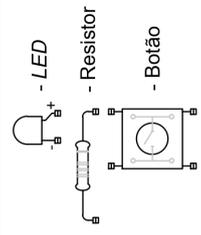
Figura 93 – Painel - Unidade 02 Leia na horizontal
 Fonte: Produzida pelo autor



Legenda:

- NA - Contato normalmente aberto
- NF - Contato normalmente fechado
- C - Contato comum
- T - Terminal da bobina do relé
- + - Polo positivo ou ânodo
- - Polo negativo ou cátodo

- - Barramento
- - Furo para conexão
- - Furo conectado
- s - Barramentos com pontos ABCDE
- i - Barramentos com pontos FGHIJ
- - Conexão entre barramentos



**Protoboard - Painel (Unidade 03)
APOIO**

Para realização desta montagem atente-se para as posições dos furos. Veja como interpretar as posições dos furos no desenho de localização e simbologia.

Para ligar o temporizador, basta alimentar os barramentos horizontais da placa

Figura 94 – Painel - Unidade 03 Leia na horizontal
Fonte: Produzida pelo autor

E.3 Manual de uso

Fique atento para o fato de que a conexão de qualquer ponto de um barramento conecta todos os demais pontos do mesmo barramento. Logo, para conectar dois pontos em barramentos distintos, digamos B5 e A8, basta conectar um ponto que pertença ao barramento s5 a outro que pertença ao barramento s8.

E.3.1 Ligando um *LED*

Para ligar um *LED* da unidade 01 ou da unidade 02, conecte o barramento negativo (-) ao barramento onde se encontra o cátodo (-) do *LED*. Em seguida conecte o barramento positivo (+)(ou algum outro barramento que seja alimentado pelo barramento positivo) ao barramento do resistor associado em série com o ânodo (+) do *LED*.

ATENÇÃO: Não conecte nenhum polo positivo (+) ao barramento conectado ao ânodo (+) do *LED*. A tensão oferecida pela fonte é superior à tensão suportada pelo *LED*, por isso é necessário um resistor associado em série com o *LED*. Se ligar o positivo direto no ânodo do *LED* ele queima.

Para ligar o *LED* 5, por exemplo, conecte o barramento i55 ao barramento negativo (-) e conecte o barramento i52 ao barramento positivo (+). Conforme a imagem central da Figura 95. **Não** conecte o barramento positivo (+) ao barramento i56 (imagem da esquerda da Figura 95), **se conectar o i56 ao positivo o *LED* vai queimar**. A imagem da direita ilustra o percurso da corrente elétrica que aciona o *LED*, em preto a conexão ao polo negativo (neutro ou terra) e em vermelho a conexão ao polo positivo.

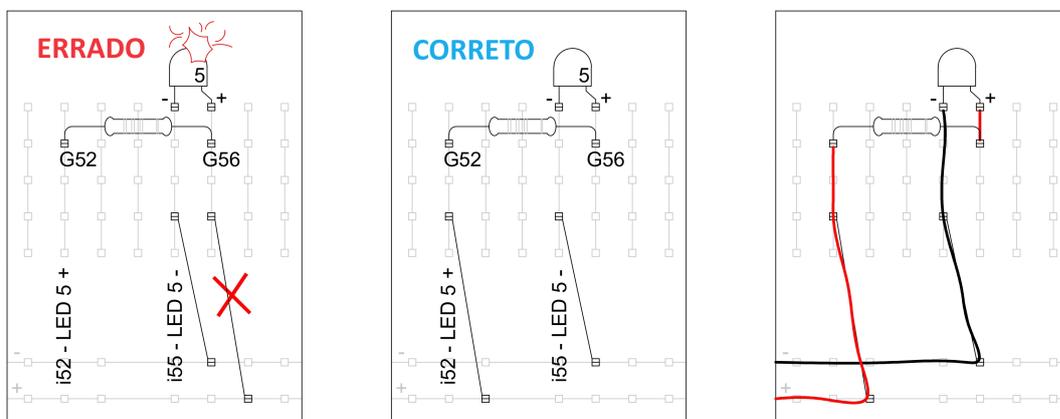


Figura 95 – Ligando o *LED* 5

Fonte: Produzida pelo autor

E.3.2 Ligando um motor

Basta conectar o barramento onde está um dos terminais do motor ao barramento negativo (-) e o barramento onde está o outro terminal do motor ao barramento positivo (+) (ou a um barramento alimentado pelo positivo). A inversão da alimentação dos terminais muda o sentido de rotação do motor.

E.3.3 Utilizando um botão

Os botões especificados pelo projeto possuem 4 terminais em dois pares. Cada par de contatos conecta dois barramentos alinhados verticalmente de forma permanente. Tome um botão conectado à placa nos furos E(n), F(n), E(n+2) e F(n+2), para algum $n = \{\alpha, 0, 1, \dots, 59\}$. Com isso teremos a conexão permanente entre os barramentos i(n) e s(n) em um dos pares de contatos do botão e a conexão permanente entre os barramentos i(n+2) e s(n+2) no outro par de contatos do botão. Quando pressionado, o botão conecta os dois pares de barramentos de forma que os 4 barramentos ligados ao botão passam a estar conectados.

Na imagem 96 temos o exemplo do botão 2, ligado nos pontos E43, F34, E45 e F45. Na imagem da esquerda, o botão não está pressionado, seu mero posicionamento neste pontos garante a conexão entre os barramentos i43 e s43, representada em verde e a conexão entre os barramentos i45 e s45 representada em azul. Quando o botão é pressionado (imagem da direita), são conectados os 4 barramentos, i43, s43, i45 e s45, representado em vermelho.

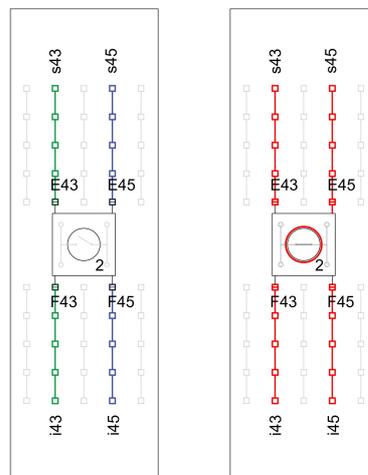


Figura 96 – Usando o botão 2

Fonte: Produzida pelo autor

E.3.4 Utilizando um interruptor

O interruptor duplo especificado no projeto está instalado entre dois pares de barramentos verticais e possui dois contatos normalmente abertos, cada um conectando um par de barramentos distinto. Quando o cursor do interruptor está voltado para baixo, os contatos estão abertos e não há conexão entre os barramentos. Quando o cursor está posicionado para cima, na posição *on*, os contatos são fechados e conectam os barramentos de um mesmo par. Mas não conectam os pares de barramentos como ocorre no botão. Há interruptores duplos em quem os contatos são controlados por cursores distintos, mas o princípio de funcionamento é o mesmo.

Vejamos a utilização do interruptor 3 representada na Figura 97, por exemplo. A instalação do interruptor nos pontos E5, E6, F5 e F6 não altera o estado dos barramentos se o cursor do interruptor estiver para baixo (imagem da esquerda). Quando o cursor é movido para cima, para a posição *on* o contato entre os pontos E5 e F5 é fechado e o contato entre os pontos E6 e F6 também é fechado (imagem da direita). Dessa forma o interruptor na posição *on* garante a conexão entre os barramentos i5 e s5 por um contato (representado na cor verde, imagem da direita) e garante a conexão entre os barramentos i6 e s6 por outro contato (representado na cor vermelha, imagem da direita). Mas diferentemente do botão, o interruptor não permite a conexão entre o par de barramentos i5, s5 e o par de barramentos i6, s6.

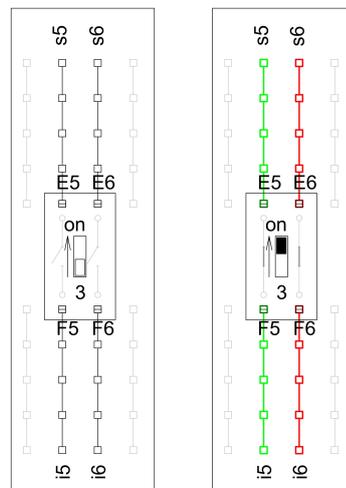


Figura 97 – Usando o interruptor 3

Fonte: Produzida pelo autor

E.3.5 Utilizando um relé

O relé DPDT especificado no projeto possui 2 terminais de alimentação e 6 terminais comandados. O primeiro par de terminais corresponde à contatos normalmente abertos - NA (abertos com o relé desligado e fechados com o relé ligado). O segundo par de terminais corresponde à contatos normalmente fechados - NF (fechados quando o relé está desligado e abertos quando o relé está ligado). O terceiro par corresponde à contatos comuns - C, que estão conectados aos contatos NF com o relé desligado e sua conexão é comutada para os contatos NA quando o relé é ligado. Por último temos os terminais de alimentação da bobina do relé - T. Tome $n = \{\alpha, 0, 1, \dots, 54\}$. Os terminais dos contatos NA estão nas posições E(n) e F(n). Os NF estão em E(n+2) e F(n+2). Os contatos C estão em E(n+4) e F(n+4). E os contatos T estão em E(n+7) e F(n+7). Quando o relé está desligado temos a conexão entre os barramentos i(n+2) e i(n+4) e também temos a conexão entre os barramentos s(n+2) e s(n+4). Ao conectarmos os barramentos i(n+7) e s(n+7) aos barramentos de alimentação, um ao positivo (+) e outro ao negativo (-), os contatos são comutados e deixamos de ter as conexões mencionadas para termos a conexão entre barramentos s(n) e s(n+4) e a conexão entre os barramentos i(n) e s(n+4).

Vejamos o exemplo da utilização do relé 4, na Figura 98. Quando o relé esta desligado (imagem da esquerda) temos a conexão entre os barramentos i25 e i27 (em azul) e a conexão entre os barramentos s25 e s27 (em verde). Ao ligarmos os barramentos i30 e s30 na alimentação elétrica (imagem da direita), temos a energização da bobina do relé e os contatos são comutados, agora são conectados os barramentos i23 e i27 (em azul) e os barramentos s23 e s27 (em verde).

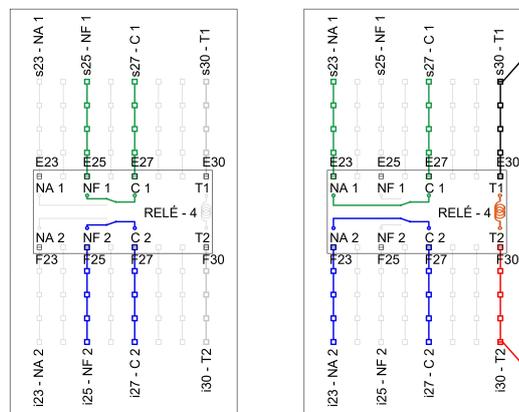


Figura 98 – Usando o relé 4

Fonte: Produzida pelo autor

E.3.6 Utilizando os Circuitos Integrados de Portas Lógicas

Os Circuitos Integrados (CI) especificados na unidade 2 do painel possuem 14 terminais cada um. Todos possuem um terminal para potência (VCC) no canto superior esquerdo e um terminal terra (GND) no canto inferior direito. Para utilizar qualquer um deles conecte o barramento onde está presente o (VCC) ao barramento positivo (+) da placa e conecte o barramento onde está presente o (GND) ao barramento negativo (-) (neutro ou terra) da placa, conforme a Figura 99. Os 12 terminais restantes são referentes a 4 Portas Lógicas, sendo 3 terminais para cada uma, compondo duas entradas de sinal (ou corrente elétrica) e uma saída de sinal (ou corrente elétrica) em cada porta.

Para os CI 74HC32, 74HC86, 74HC08 e 74HC00, as portas estão configuradas de forma que a cada 3 terminais, excetuando-se o (VCC) e o (GND), os dois primeiros da esquerda para a direita são as entradas e o terceiro é a saída da porta lógica, Figura 99 (imagem da esquerda). Já no CI 74HC02, da esquerda para a direita, o primeiro terminal do trio é a saída e os próximos dois são as entradas da porta lógica, Figura 99 (imagem da direita). No projeto, Figura 93, os barramentos referentes às entradas estão identificados com **INT** e os barramentos referentes às saídas estão identificados com **OUT**. As saídas de cada porta de um CI são identificadas com números de 1 a 4. As entradas são identificadas com o mesmo número da sua respectiva saída, acompanhado da letra A ou da letra B para diferenciar as entradas.

O CI 74HC32 possui Portas Lógicas *or*. Em cada porta, há sinal de saída se houver sinal de entrada em A ou B. $(A \vee B)$.

O CI 74HC02 possui Portas Lógicas *nor*. Em cada porta, há sinal de saída se não houver sinal de entrada nem em A nem em B. $\neg(A \vee B)$.

O CI 74HC86 possui Portas Lógicas *xor*. Em cada porta, há sinal de saída se houver sinal de entrada ou em A ou B (não em ambos). $(A \underline{\vee} B)$.

O CI 74HC08 possui Portas Lógicas *and*. Em cada porta, há sinal de saída se houver sinal de entrada em A e B. $(A \wedge B)$

O CI 74HC00 possui Portas Lógicas *nand*. Em cada porta, há sinal de saída se não houver sinal de entrada em A e B (simultaneamente). $\neg(A \wedge B)$.

A Figura 99 mostra o CI 74HC32 e o CI 74HC02 como exemplo. Os demais CI de Portas Lógicas possuem a mesma configuração de entrada e saída que o CI 74HC32, mudando somente a manipulação do sinal.

ATENÇÃO: Não conecte mais de dois *LED* em paralelo em uma mesma saída de CI, a corrente excederia a máxima suportada pelo componente. O mesmo ocorre se a ligação for feita sem resistor em série com o *LED*. Sempre teste seu modelo no protótipo virtual antes da montagem, para evitar danos aos componentes do painel.

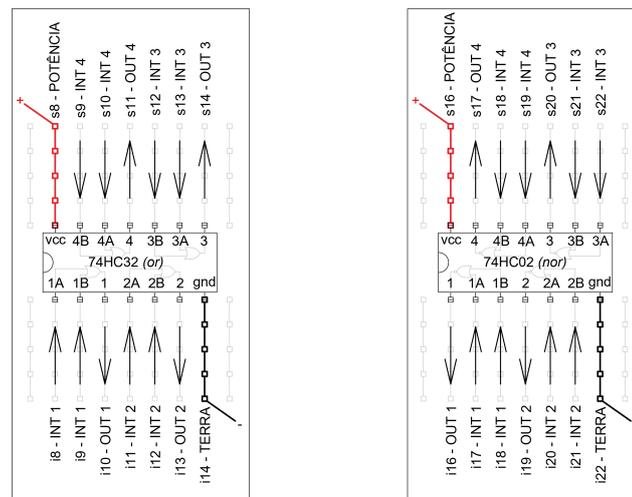


Figura 99 – CI 74HC32 e CI 74HC02

Fonte: Produzida pelo autor

E.3.7 Utilizando o temporizador

Para utilização do temporizador montado na unidade 3 do painel, primeiro ele deve ser montado conforme as especificações do projeto, Figura A.3. Para ligá-lo, basta conectar os barramentos positivo (+) e negativo (-) da unidade 03 na fonte de energia ou nos barramentos positivo (+) e negativo (-) da unidade 02. Neste instante o temporizador já está ativado e começa a contar, durante a contagem do tempo o *LED* 13 permanece aceso. Após a contagem do tempo programado o *LED* 13 se apaga e o *LED* 14 é aceso. Para reiniciar a contagem pressione o botão 4 montado no temporizador, assim o *LED* 14 se apaga e o *LED* 13 acende reiniciando a contagem. Para controlar o tempo de contagem do temporizador mova o cursor do potenciômetro. Para diminuir o tempo de contagem mova o cursor no sentido anti-horário e para aumentar o tempo mova o cursor no sentido horário. O barramento i47 pode ser utilizado para enviar o sinal do temporizador durante o tempo de contagem para outro dispositivo da placa assim como é enviado para o *LED* 13.

O barramento i52 pode ser utilizado para enviar o sinal do temporizador após a contagem do tempo, assim como é feito para o *LED* 14. ATENÇÃO para este último. O conecte no máximo a mais um dispositivo, a conexão de mais dispositivos em paralelo na mesma saída de uma porta lógica danifica o CI por excesso de corrente.

E.4 Exemplos de circuitos que podem ser montados

A seguir são oferecidas simulações de projetos montados no protótipo virtual construído no aplicativo *Tinkercad* <<https://www.tinkercad.com/>>, como exemplos de projetos que podem ser construídos com o painel.

- ***protoboard* - painel**

Projeto do protótipo virtual do painel.

link:<https://www.tinkercad.com/things/em9RZnkjKpt-protoboard-painel?sharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

- **Ligado três *Leds* com três interruptores**

Projeto de acendimento de *LED* por meio de interruptores.

link:<<https://www.tinkercad.com/things/2BhIUmXMc40-ligado-tres-leds-com-tres-interruptores?sharecode=cHuzPIAljOrE03bq0A859WW4FF-YpldOrsTCWfbJRDY>>

- **(*A nand B*) and *C***

Projeto envolvendo interruptores, Portas Lógicas e *LED* para simulação de uma frase lógica.

link:<https://www.tinkercad.com/things/lwKGWUiEGkH-a-nand-b-and-c?sharecode=MVeVx1_4GEBxKNWNekEv3B72HYqFNpo_3uUT8vxIovc>

- **Ligando um *LED* com um botão**

Projeto envolvendo relés e botões para acender um *LED*.

link:<<https://www.tinkercad.com/things/fc825wUmOHI-ligando-um-led-com-um-botao?sharecode=tqrtuKpsU4VG2odluoSP1aTlNlmELHZNReCaZFuHo3w>>

- **Ligando e desligando um *LED* com um botão**

Projeto que utiliza selo elétrico e intertravamento elétrico para ligar e desligar um *LED* com um botão.

link:<https://www.tinkercad.com/things/bRseTbBOhwl-ligando-e-desligando-um-led-com-um-botao?sharecode=YZowmEH52NIVfeFfdj3DfOZc9D5lnGWtYOq_qU2ZG1w>

- **protoboard - painel - ligando e desligando um motor**

Projeto que utiliza selo elétrico e intertravamento elétrico com relés para ligar e desligar um motor com um botão.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/8XLYVqnS5V4-protoboard-painel-ligando-e-desligando-um-motor?sharecode=h5hFV4rTAn1vQCE6IrJgZljEoqANUR27R53G1p8YXsM>>

- **projeto - motor - horário, anti-horário e desliga**

Neste projeto são usados relés intertravados, selo elétrico em relés, botões e CI para ligar um motor em um sentido, outro motor em outro e desligar o sistema, com luzes de alerta de cada movimento.

link: <<https://www.tinkercad.com/things/g0wCTjYgEOk-projeto-motor-horario-anti-horario-e-desliga?sharecode=VNF85byE9kzyikpNrSBVhyky8YsXUvDgLQRk33CKaIY>>

- **Temporizador**

Este projeto simula o uso do temporizador projetado na unidade 03 do painel.

link: <https://www.tinkercad.com/things/jBzX9j9Wir7-temporizador?sharecode=bY7tNVKQ_GQI_JtdKkCh6B6VXEQu_qBylE6OstvFpdU>

E.5 Orçamento

Os preços dos componentes do projeto foram pesquisados no dia 18/03/2024, no *site* <<https://www.mercadolivre.com.br/>> e no *site* <<https://www.amazon.com.br/>> e os valores encontrados estão disponíveis a seguir:

Placa 830 pontos:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 13,00 a unidade.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 15,00 a unidade.

Relé DPDT:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 87,49 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 72,99 quite c/ 10 peças.

Botão 4 pinos:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 87,49 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 132,33 quite c/ 100 peças.

Interruptor de 2 contatos:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 27,50 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 24,43 quite c/ 5 peças.

Este interruptor não é o de dois contatos especificado, mas pode ser adaptado no projeto, sendo necessário uma unidade deste modelo para suprir a necessidade de três unidades do modelo duplo previsto. Caso seja utilizado este modelo, as posições dos contatos dos interruptores devem ser ajustadas no projeto.

LED:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 30,00 quite c/ 200 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 29,90 quite c/ 100 peças.

Motor:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 11,60 a unidade.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 13,55 a unidade.

Resistor de aproximadamente 200Ω:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 12,95 quite c/ 100 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 12,95 quite c/ 100 peças.

Capacitor de aproximadamente 100μΩ:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 14,02 quite c/ 50 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 24,95 quite c/ 10 peças.

Potenciômetro:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 22,41 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 30,98 quite c/ 10 peças.

Circuito Integrado 555 (temporizador):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 13,95 quite c/ 5 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 199,00 quite c/ 30 peças.

Circuito Integrado 74HC32 (Portas Lógicas *or*):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 22,95 quite c/ 5 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 47,02 quite c/ 10 peças.

Circuito Integrado 74HC02 (Portas Lógicas *nor*):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 38,00 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 41,92 quite c/ 10 peças.

Atenção para o formato dos pinos do Circuito Integrado e dos demais dispositivos. Os pinos devem favorecer a inserção do dispositivo na protoboard. O Circuito Integrado 74HC02 encontrado na Amazon, no momento da pesquisa, não é o tipo adequado devido ao formato dos pinos.

Circuito Integrado 74HC86 (Portas Lógicas *xor*):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 43,99 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 41,92 quite c/ 10 peças.

Circuito Integrado 74HC08 (Portas Lógicas *and*):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 42,89 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 42,89 quite c/ 10 peças.

Circuito Integrado 74HC00 (Portas Lógicas *nand*):

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 24,31 quite c/ 10 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 24,31 quite c/ 10 peças.

Cabo macho para construção dos circuitos:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 19,12 quite c/ 65 peças.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 37,99 quite c/ 65 peças.

Fonte para *protoboard*:

No *site*: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> por R\$ 17,99 a unidade.

No *site*: <<https://www.amazon.com.br/>> por R\$ 23,42 a unidade.

Os valores encontrados não consideram o custo do frete. Esta pesquisa não investigou a idoneidade do fornecedor, nem a qualidade do produto ou da entrega. O objetivo deste orçamento é estimar um custo total dos componentes necessários para montagem de cada unidade do painel.

No Anexo F são disponibilizadas imagens de tela feitas durante a presente pesquisa.

Considerando as quantidades previstas em projeto para cada componente, descritas no item E.1. E estimando um custo unitário de cada componente a partir da média dos preços pesquisados. Podemos estimar o custo da montagem de cada painel em R\$ 229,60, conforme a Tabela 29.

Componente	Custo unitário estimado (R\$)	Quantidade	Custo
Placa	14,00	3	42,00
Relé	8,00	5	40,00
Botão	2,00	5	10,00
Interruptor	3,50	4	14,00
LED	0,20	18	3,60
Motor	12,60	2	25,20
Resistor	1,30	18	23,40
Capacitor	0,70	3	2,10
Potenciômetro	2,70	2	5,40
CI 555	6,10	1	6,10
CI 74HC32	4,70	1	4,70
CI 74HC02	4,00	1	4,00
CI 74HC86	4,30	1	4,30
CI 74HC08	4,30	1	4,30
CI 74HC00	2,40	2	4,80
Cabo Macho	0,50	30	15,00
Fonte	20,70	1	20,70
Custo das peças para montagem de cada Painel			229,60

Tabela 29 – **Orçamento da montagem do painel**
 Fonte: Produzida pelo autor

APÊNDICE F – Complemento da Seção 3.2

F.1 Pneumática e Hidráulica

Pneumática é ramo da física que estuda as propriedades dos gases. A indústria utiliza este conhecimento em projetos de automação com máquinas que funcionam por meio da compressão de ar, executando trabalhos de movimento repetitivo na linha de montagem ou até mesmo em tarefas mais simples como fechar e abrir portas automaticamente.

Para entender uma das atividades mais simples realizadas por sistemas pneumáticos, pense em uma seringa. Na seringa temos o corpo, aquele espaço onde o fluido a ser injetado fica armazenado, temos o bico, por onde o fluido sai do corpo da seringa e temos o êmbolo, que expulsa o fluido da seringa ao ser pressionado. Nos atuadores pneumáticos chamamos o análogo do corpo da seringa de camisa do atuador. Nestes equipamentos pneumáticos o êmbolo está conectado a um pistão que realiza movimento axial conforme o ar é introduzido na camisa empurrando o pistão.

Na seringa, a pressão sobre o êmbolo cilíndrico movimenta o fluido que está em seu interior, expulsando-o com o empurrar do êmbolo ou introduzindo fluido na seringa ao puxar o êmbolo. Na atuação pneumática este fluido é o ar e a atuação é inversa àquela da seringa, a pressão realizada pelo ar ao ser introduzido no interior da camisa movimenta o pistão. Dessa forma temos a pressão de ar realizando movimento axial.

Basicamente um compressor faz com que ocorra o acúmulo de ar pressurizado em um reservatório e um sistema de válvulas controla a saída desse ar para os pontos de utilização, onde são instalados os atuadores pneumáticos. As válvulas controlam o fluxo de ar conforme a necessidade de ação dos atuadores. A Figura 100 mostra um dos diversos tipos de atuadores pneumáticos disponíveis no mercado.



Figura 100 – **Atuador Pneumático**

Fonte: <<https://www.jartec.com.br/atuadores/pneumaticos/iso-standart-15552/atuador-pneumatico-smc-diametro-o63mm-curso-100mm/>> Acesso em: 04/02/2024

Em sistemas pneumáticos e em sistemas hidráulicos, os atuadores podem ser lineares ou giratórios. Os lineares são aqueles que realizam movimento axial, de translação. Os giratórios são os que realizam movimento de rotação, que pode ser em um ângulo específico ou uma rotação contínua. Os atuadores giratórios que realizam ângulo específico são chamados de atuadores giratórios angulares, São aplicáveis, por exemplo, na abertura e fechamento de válvulas¹. Já os atuadores giratórios que realizam uma rotação contínua são chamados de atuadores giratórios contínuos. Estes últimos são semelhantes a cataventos, transformando a energia mecânica presente no movimento de um fluido pelas pás do motor em energia mecânica de rotação, este é o tipo de atuador de aleta rotativa.

Um atuador giratório angular pode ser do tipo cremalheira², neste caso temos um sistema semelhante ao atuador axial, no qual um êmbolo se enche do fluido e movimenta uma haste. Mas neste caso a haste está conectada a uma cremalheira que transmite movimento de rotação a uma engrenagem a partir de seu movimento axial. Veja a Figura 101.

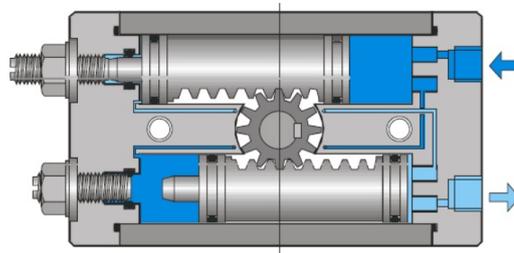


Figura 101 – **Atuador giratório angular do tipo cremalheira**

Fonte: <<https://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2016/10/actuadores-neumaticos.html>> Acesso em: 14/02/2024

¹ Imagine uma torneira que só funciona totalmente aberta ou totalmente fechada, essa é a função de uma válvula de bloqueio, por exemplo. A abertura ou fechamento da mesma pode se dar por meio de um giro específico.

² Cremalheira é uma estrutura horizontal dentada, como se a periferia de uma roda dentada de engrenarem fosse esticada linearmente

Entre os diversos tipos de atuadores, falaremos um pouco mais sobre dois tipos de atuadores axiais. O atuador axial de retorno por mola e o atuador axial de dupla atuação.

No primeiro, o cilindro se mantém em uma determinada posição estendido (fora da camisa) ou retraído (dentro da camisa) por força de uma mola. Tomemos o exemplo em que a posição normal do pistão é dentro da camisa, neste caso a mola mantém o pistão no estado de repouso dentro da camisa até que o acesso de ar pressurizado seja aberto pela válvula de controle, neste momento o ar movimenta o pistão criando uma câmara de ar pressurizado entre o pistão e a camisa. Quando a válvula fecha a entrada de ar comprimido para a câmara e abre a saída de ar, a mola empurra o pistão para seu estado original dentro da camisa, expelindo o ar remanescente na câmara.

Já nos atuadores de dupla ação existem dois acessos de ar para o atuador e duas câmaras entre o cilindro e a camisa, uma a esquerda e outra a direita do êmbolo, se pensarmos no atuador na direção horizontal. Neste caso tanto a extensão quanto a retração do pistão é realizado por ar comprimido, a depender de qual das câmaras está sendo abastecida com ar comprimido. Quando uma delas é alimentada, o cilindro avança, quando a alimentação passa para a outra o cilindro recua. Esta atuação permite empurrar e puxar objetos de forma mecanizada. Veja o esquema do funcionamento do cilindro de dupla ação na Figura 102

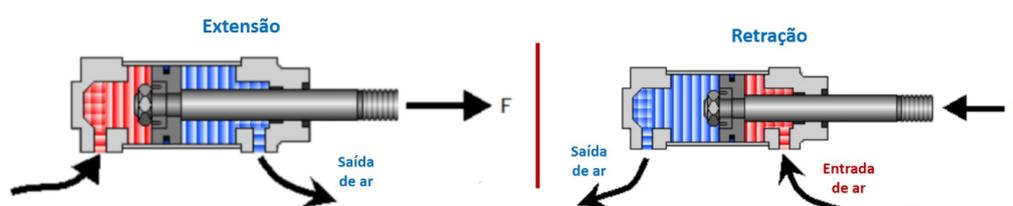


Figura 102 – **Esquema do funcionamento do atuador pneumático de dupla ação**
Fonte: <<https://www.mtibrasil.com.br/velocidade-de-um-cilindro-pneumatico.php>> Acesso em: 04/02/2024

As aplicações da pneumática são muito diversas, tanto na atuação dos equipamentos quanto no seu acionamento. Além das válvulas de controle que podem ser acionadas manualmente ou por solenoide³ também existem as que podem ser acionadas por sistema pneumático. Ou seja, além de controlar um sistema pneumático ela é controlada também por um outro sistema pneumático.

³ Uma animação sobre o funcionamento do solenoide, produzida pelo autor, está disponível em: <https://youtu.be/VSBF5Pzr5pY>

Existe uma ampla gama de possibilidades de acionamento de sistemas hidráulicos e pneumáticos, entre eles destacamos o acionamento eletromecânico por válvulas solenoide. Estes sistemas eletromecânicos permitem a automação do processo, uma vez que funcionam com base na Lógica *Booleana* e podem ser controlados por meio de relés ou programas computacionais.

A Figura 104 mostra as partes de um tipo específico de válvula solenoide e a Figura 103 mostra como se dá o seu funcionamento. A válvula é dotada de uma bobina que, por efeito eletromagnético, realiza a movimentação axial do carretel. O carretel por sua vez é dotado de sulcos que podem ou não coincidir com os acessos no corpo da válvula a depender da posição do carretel, logo a posição do carretel determina quais acessos terão passagem de material e quais não. Na posição 1 (Figura 103) a bobina está desenergizada, e o carretel está retraído por efeito de uma mola, de modo que os sulcos do carretel coincidem com os acessos 4 e 5 e com os acessos 1 e 2, assim o fluxo fica orientado em dois canais 4-5 e 1-2. Já na posição 2 a bobina está energizada expulsando o carretel que pressiona a mola, de modo que os sulcos coincidem com os acessos 1 e 4 e com os acesso 2 e 3, agora os fluxos presentes na válvula são 1-4 e 2-3.

A válvula representada é chamada de 5/2 vias, o número 5 refere-se ao fato de existirem 5 acessos (vias) de fluido para a válvula, enquanto o número 2 se refere ao número de posições que a válvula pode assumir, uma com a bobina desligada e outra com a bobina ligada, neste caso.

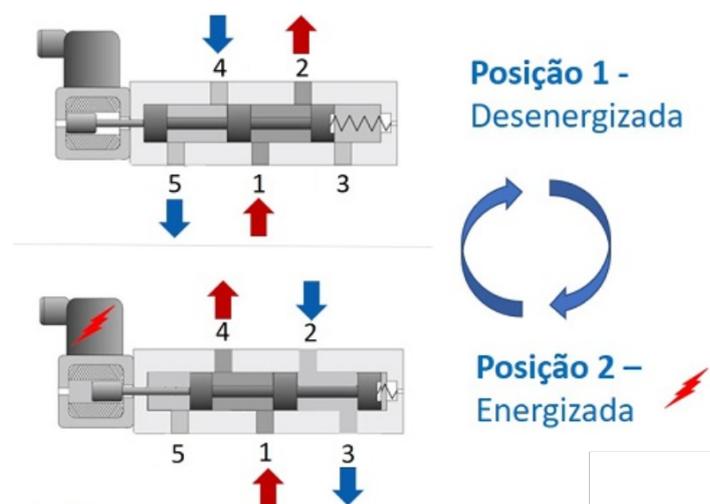


Figura 103 – Como funciona uma Válvula Solenoide 5/2 vias

Fonte: < <https://www.mtibrasil.com.br/como-funciona-valvula-solenoide-52.php> > Acesso em: 14/02/2024

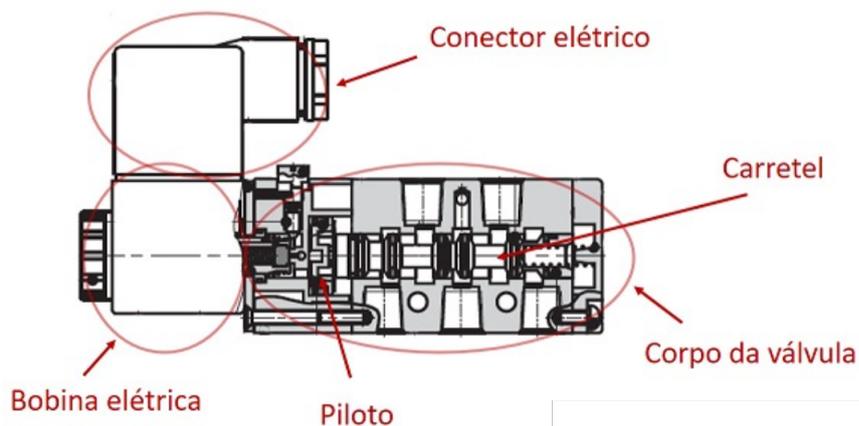


Figura 104 – Partes de uma Válvula Solenoide

Fonte: < <https://www.mtibrasil.com.br/como-funciona-valvula-solenoide-52.php> > Acesso em: 14/02/2024

Em pneumática e hidráulica as válvulas são utilizadas para controlar a alimentação de fluido para os atuadores. O acionamento da válvula, que movimenta o carretel e controla o fluxo do fluido, pode ser realizado de forma eletromagnética (válvula solenoide figuras 103 e 104), por meio de alavancas, pedais ou por meio de um fluido. Este último caso, é aquele em que uma válvula de controle é acionada por sistema pneumático ou hidráulico. Neste caso o que movimenta o carretel é um atuador pneumático ou hidráulico, ao invés de ser uma bobina, como ocorre nas válvulas solenoides.



Figura 105 – Válvula de acionamento manual por alavanca

Fonte: < <https://duplacao.com.br/produto/valvula-spool-serie-clcm/> > Acesso em: 14/02/2024

Hidráulica é a parte da física que estuda os fluidos líquidos, o fluido mais comum é a água, no entanto, em hidráulica industrial os fluidos utilizados para acionamento de atuadores são derivados do petróleo e sintéticos⁴. A hidráulica industrial funciona de forma

⁴ Fluidos sintéticos são fluidos manipulados em laboratório para aprimoramento de características

semelhante à pneumática, os dois sistemas trabalham com o deslocamento de fluido para a realização de operações mecânicas. Mas existem muitas diferenças práticas provocadas pelo tipo de fluido utilizado, como por exemplo, a possibilidade de contaminação e do tipo de vedação do sistema. Deste modo a indústria pode optar pelo sistema mais adequado à sua necessidade.

Em vez de ar comprimido, a hidráulica utiliza fluidos líquidos. Os tipos de fluido comumente utilizados em sistemas hidráulicos industriais são derivados de petróleo de baixíssima compressibilidade. A toxicidade e o custo destes fluidos fazem com que a preocupação com as vedações seja muito maior, tanto pelo risco de contaminação do processo por fluido hidráulico quanto pelo custo do fluido, que não é tão abundante e fácil de se obter como é o caso do ar na pneumática. Deste modo os sistemas hidráulicos demandam componentes de vedação muito mais sofisticados. O risco de contaminação do sistema pelo fluido hidráulico faz com que este sistema não seja utilizado em processos sensíveis. Na indústria alimentícia, por exemplo, em processos com maior contato com o produto não se utilizam sistemas hidráulicos e sim pneumáticos. A diferença no funcionamento da hidráulica e da pneumática também se dá no reaproveitamento dos materiais, o ar utilizado pelas máquinas pneumáticas é desprezado para o meio ambiente após cumprir sua função, sem ser utilizado novamente, já nas máquinas hidráulicas, os fluidos podem retornar ao sistema após o trabalho, evitando desperdícios e contaminação ambiental. O sistema pode ser dotado de componentes para a limpeza do fluido, tais como filtros, para que o fluido volte ao sistema e possa realizar novo trabalho livre de contaminantes.

A compressibilidade do ar, aproveitada nos sistemas pneumáticos permite o fácil acúmulo do fluido e que estes sistemas atuem com alta velocidade a partir de descargas rápidas do fluido armazenado, dessa forma o compressor de ar atua somente quando a pressão do reservatório atinge um nível mínimo específico. Neste sistema é mais difícil estabelecer um controle do movimento realizado, durante seu percurso. É difícil posicionar uma haste por um sistema pneumático em um estágio diferente do início ou do final do percurso da haste.

Já o fluido hidráulico é incompressível ou de baixíssima compressibilidade, assim o armazenamento de energia no fluido com pressurização é inviável, logo o sistema só tem pressão hidráulica disponível durante o funcionamento da bomba⁵, então a utilização

desejáveis e atenuação de características indesejáveis.

⁵ Outra diferença entre os sistemas é o tipo do equipamento que desloca o fluido. Fluidos compressíveis (pneumática) são deslocados por *compressores* e fluidos não compressíveis (hidráulica) são deslocados por *bombas*.

do fluxo hidráulico demanda atuação contínua da bomba. De modo geral os sistemas hidráulicos conseguem atuar em situações que solicitem menor velocidade, maior precisão e controle do movimento e maior força mecânica. Neste sistema é possível controlar a posição da haste do atuador em qualquer ponto do seu movimento.

E ainda, a natureza do fluido faz com que sistemas hidráulicos possam ser solicitados a esforços mecânicos maiores do que sistemas pneumáticos. Estes sistemas também são mais silenciosos já que são vedados e reaproveitam o material, enquanto os sistemas pneumáticos são mais ruidosos por causa do som emitido pelo descarte do ar comprimido após a utilização no equipamento, mesmo com o uso de silenciadores.

Pensando em tudo isso decida sobre o melhor sistema para realizar cada uma das atividades industriais abaixo, considere que devem ser utilizados um dos sistemas, hidráulico ou pneumático.

- *Atividade 1*⁶: Em uma das etapas da produção de uma indústria alimentícia é necessário deslocar garrafas de uma esteira para caixas em outra esteira. As garrafas devem ser empurradas em um movimento rápido de um ponto à outro, a uma distância correspondente ao comprimento da haste do mecanismo utilizado no deslocamento das garrafas.
- *Atividade 2*⁷: Em uma oficina de automóveis é necessário uma plataforma de elevação de veículos para montagem e manutenção de componentes na sua parte inferior. É necessário um sistema que permita o controle da altura da elevação do veículo conforme a operação a ser realizada e conforme a necessidade do operador.

F.2 Uso e Funcionamento dos relés e dos contatores

Pelo princípio da indução magnética, descoberto por Michael Faraday em 1831, temos que uma bobina eletrizada gera campo magnético, transformando-se em um eletroímã, que por sua vez interage com outros ímãs, atraindo-os ou afastando-os a depender do sentido

⁶ Uma possibilidade para controle da válvula seria um sistema pneumático, já que é uma indústria alimentícia (onde a atuação hidráulica não é aplicada pelo risco de contaminação) e o movimento de abrir e fechar a válvula deve ser rápido e ocorrer totalmente, ou seja, ou a válvula está aberta ou a válvula está fechada. Além disso o sistema permite (assim como o hidráulico) o controle por meios eletromecânicos, eletrônicos ou computador

⁷ Uma possibilidade para controle da válvula seria um sistema hidráulico, já que é uma atividade de baixo risco de contaminação que demanda precisão e controle do movimento da haste do atuador e um alto esforço mecânico devido ao peso dos veículos sobre a plataforma. Além disso o sistema permite (assim como o pneumático) que o operador controle o sistema manualmente por alavanca

do campo magnético gerado⁸. Além disso, este eletroímã criado a partir da eletrização de uma bobina, também interage com materiais ferromagnéticos, sempre os atraindo. Assim sendo, a eletrização de uma bobina produz o movimento de atração de um objeto ferromagnético deslocando-o. O que ocorre é que energia elétrica gera campo magnético, que por sua vez gera movimento.

Imagine um sistema em que se deseje controlar a passagem de corrente elétrica de um ponto a outro, uma lâmpada por exemplo, que pode ser ligada ou desligada por meio de um interruptor residencial comum ou qualquer outro sistema em que se faça contato entre dois perfis metálicos⁹. Para isso faz-se necessário que um circuito seja percorrido por corrente elétrica. Veja as figuras: Figura 106 onde o circuito não é percorrido por corrente elétrica, logo a lâmpada está apagada. E a Figura 107 onde o contato de duas hastes metálicas permite a passagem de corrente elétrica, logo ocorre o acionamento da lâmpada.

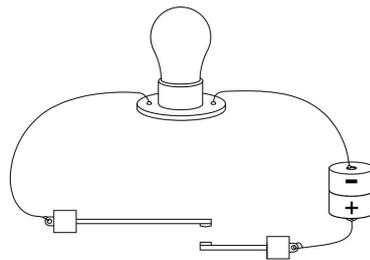


Figura 106 – **Lâmpada Apagada**

Fonte: Produzida pelo autor

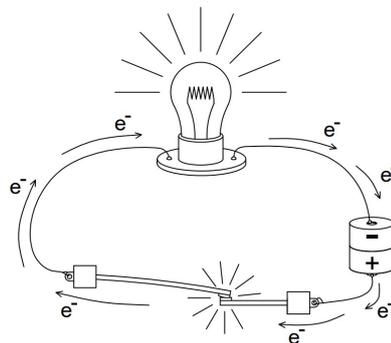


Figura 107 – **Lâmpada Acesa**

Fonte: Produzida pelo autor

⁸ Assista ao vídeo produzido pelo autor que descreve o funcionamento de um solenoide, disponível em: <https://youtu.be/VSBF5Pzr5pY>

⁹ O acionamento de circuitos elétricos se dá pela passagem de corrente elétrica pelo sistema. Por isso são utilizados metais, já que os mesmos são bons condutores elétricos. Essa característica vem da baixa eletroafinidade que os núcleos atômicos dos metais costumam ter pelos seus elétrons de valência (aqueles elétrons mais externos da eletrosfera)

Agora imagine um equipamento que deve ser acionado de forma repetida, ou que o momento do acionamento seja muito preciso (mais preciso do que a mão humana), ou que o operador deva estar a certa distância do interruptor no momento do acionamento¹⁰, ou simplesmente exista um desejo de facilitar o processo, ou outro motivo qualquer. Entre outras possibilidades, este equipamento pode ser acionado por um Relé ou por um Contator Eletromecânico.

Uma importante característica do relé é que circuitos e cargas que exigem elevadas correntes durante o seu funcionamento podem ser acionados por uma corrente de baixa intensidade, necessária apenas para energizar a bobina do relé (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.39).

Um relé, é fundamentalmente um dispositivo comutador, ou seja, quando acionado alterna um estado de passagem de corrente elétrica. Eles costumam ser dotados de um ou mais contatos, que podem ser: **normalmente abertos**, onde não há passagem de corrente elétrica quanto o relé está desligado, ou **normalmente fechados**, onde há passagem de corrente elétrica quando o relé está desligado e também pode ocorrer os dois tipos de contato em um mesmo relé. Assim que o relé é acionado os contatos são comutados, de modo que o **normalmente aberto** é fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica por este contato e o **normalmente fechado** é aberto encerrando a passagem de corrente elétrica por este contato.

Roggia e Fuentes (2016, p.37) Diz que “O relé é um dispositivo capaz de comandar circuitos elétricos de saída através de um circuito de controle de entrada.” Estes circuitos são independentes e não estão, necessariamente, submetidos as mesmas tensões. A tensão do circuito de entrada comumente é menor do que a do circuito comandado, principalmente no caso dos contatores industriais. Podemos entender o “circuito elétrico de entrada” como sendo os contatos 1 e 2 das figuras 108 e 109. É nestes contatos que é alimentada a informação de acionamento ou não da bobina do relé, onde ocorre o “controle” do sistema. E como “circuito elétrico de saída” temos os terminais 3, 4 e 5. Conforme o controle feito pelo circuito de entrada (aquele ligado à bobina do relé) podemos “comandar” o circuito elétrico de saída de modo que temos energização entre os contatos 3 e 4 ou entre os contatos 3 e 5, figuras 108 e 109, conforme o sinal fornecido ao circuito elétrico de entrada.

¹⁰ Em curtas distâncias, a corrente elétrica consegue romper a barreira isolante formada pelo ar. Nestas situações ocorre o arco elétrico (aquele clarão que vemos quando ligamos um objeto na tomada muito devagar). Quanto maior a tensão do equipamento, maior a distância em que pode ocorrer o arco elétrico e maiores são as chances de acidentes acontecerem. Então, por motivo de segurança, muitas vezes “interruptores” por onde passam altas tensões e altas correntes são acionados a distância.

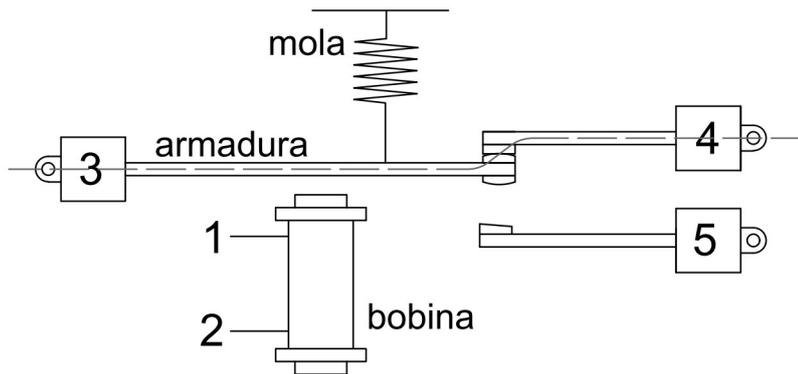


Figura 108 – Relé Desligado

Fonte: Produzida pelo autor

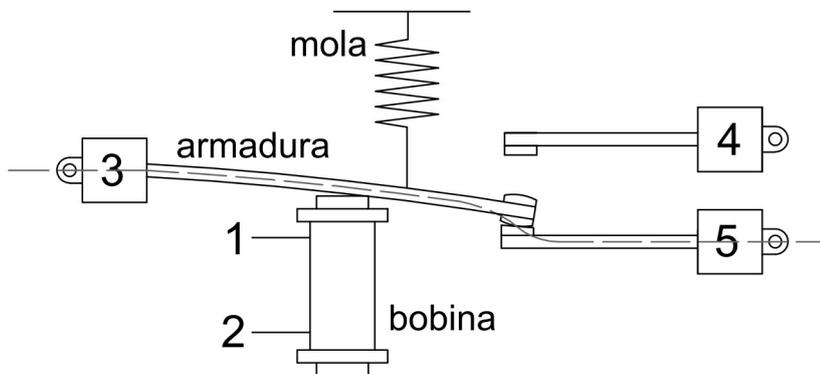


Figura 109 – Relé Ligado

Fonte: Produzida pelo autor

Os elementos fundamentais de um relé eletromecânico comum são:

- Bobina
- Mola
- Armadura
- Contato comum
- Contato normalmente fechado
- Contato normalmente aberto

A bobina funciona como um eletroímã, acionado quando contatos 1 e 2 das figuras 108 e 109 são alimentados com corrente elétrica. Quando acionada, a bobina atrai a

armadura com força superior a força da mola, mudando a posição da armadura. Quando a bobina é desenergizada a mola movimenta a armadura para sua posição original. A Armadura é responsável por comutar os contatos. Quanto o relé está desligado a bobina está desenergizada, a mola está contraída e a armadura conecta o contato comum ao contato normalmente fechado, desse modo temos passagem de corrente elétrica entre os contatos 3 e 4, comum e normalmente fechado respectivamente, como podemos observar na Figura 108. Quando há alimentação elétrica dos contatos 1 e 2, a bobina é energizada e atrai a armadura com força superior a força da mola e desloca a armadura da posição original, desconectando o contato normalmente fechado e conectando o contato normalmente aberto, assim deixamos de ter corrente elétrica entre os contatos 3 e 4 e passamos a ter corrente elétrica entre os contatos 3 e 5 como mostra a Figura 109. Dessa forma o sinal, ou corrente elétrica, é comutado entre os contatos 5 e 4 a depender, respectivamente, da energização ou não da bobina do relé.

Neste modelo de relé um contato comum alimenta vários contatos diferentes que são alternadas conforme o estado do relé que pode estar ou não ligado. Já nos contatores industriais os contatos são independentes. Um contator para acionamento de um motor trifásicos¹¹, por exemplo, precisa apresentar três contatos normalmente abertos independentes. Ou seja, não há um contato comum, cada um dos três contatos é alimentado separadamente por uma fase distinta. A Figura 110 mostra esta diferença entre o relé e o contator, bem como a representação gráfica convencional dos mesmos.

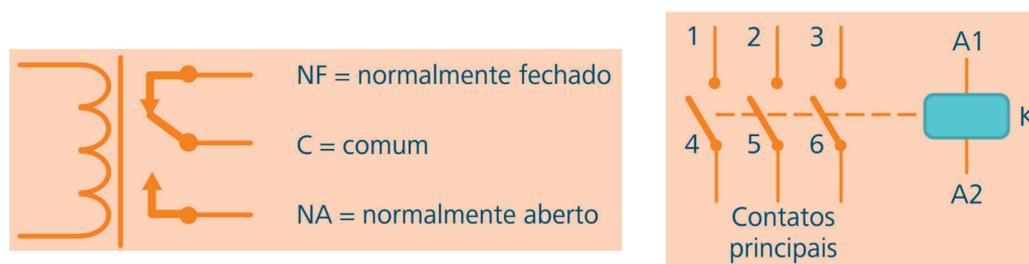


Figura 110 – **Representação gráfica Relé e Contator**
Fonte: (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.40-42)

O diagrama da esquerda mostra a representação gráfica do relé com os terminais da bobina à esquerda e os contatos a direita. O diagrama da direita mostra a representação

¹¹ A rede elétrica convencional dispõe de três fases. Nas tomadas residenciais temos três pontos (não confunda com as fases), o ponto central é o terra e os outros dois pontos são fase e neutro. A tensão elétrica ofertada nestas tomadas ocorre pela diferença de potencial entre uma das fases disponíveis no sistema e o neutro. Este é o sistema monofásico com o qual estamos acostumados. Mas motores e outros equipamentos podem ser trifásicos, neste caso as três fases disponíveis são ligadas no equipamento

gráfica dos contatos principais de um contator industrial, podemos observar que não há contato comum, os contatos 1-4, 2-5, 3-6, são independentes. A direita do diagrama temos a representação da bobina do contator, comumente denominada com a letra K, o acionamento da mesma se dá pela alimentação elétrica dos contatos A1 e A2.

Muitos contadores industriais têm acoplado um módulo auxiliar, normalmente com tensão de alimentação mais baixa e com a possibilidade de contatos normalmente fechados e contatos normalmente abertos conforme a necessidade do projeto. Estes módulos também costumam ter contatos independentes. Esta configuração amplia as possibilidades de comando.

Os contatos principais são utilizados para estabelecer e interromper correntes elétricas de alimentação de cargas, como motores, por exemplo. Por outro lado, os contatos auxiliares são utilizados para acionar e/ou bloquear circuitos auxiliares de comando, sinalização e intertravamento elétrico (impedir que um contator seja acionado quando outro já estiver em funcionamento) (ROGGIA; FUENTES, 2016, p.42).

Entre as aplicações dos contatos auxiliares, eles podem ser utilizados para realização do que é chamado em campo de selo elétrico. O selo elétrico é utilizado para que a bobina do contator, uma vez energizada, feche um contato que a retroalimenta em um circuito paralelo ao utilizado para o acionamento inicial. Isso mantém a energização da bobina mesmo que o sinal inicial dado seja cessado.

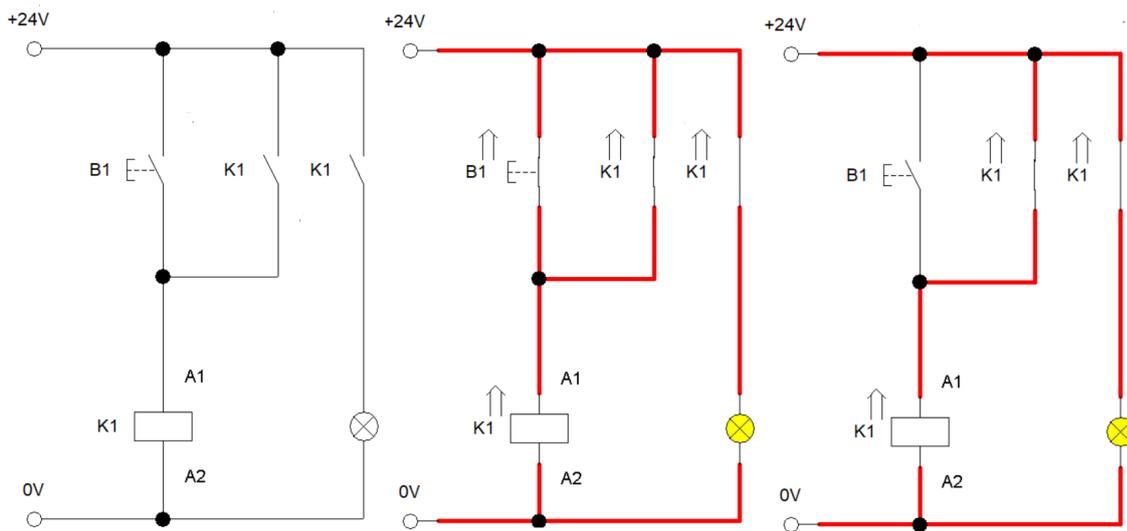


Figura 111 – Como funciona um selo elétrico

Fonte: Produzida pelo autor

A Figura 111 acima mostra o diagrama de um selo elétrico. O retângulo K1 representa a bobina do contator, as descontinuidades K1 representam contatos auxiliares

normalmente abertos do contator K1, B1 representa o contato normalmente aberto de uma botoeira comum¹² e o círculo representa uma lâmpada. Note, na imagem central, que a pressão do botão permite a alimentação da bobina de K1 que por sua vez fecha os contatos normalmente abertos de K1. Quando fechado, contato K1 da direita alimenta a lâmpada, já o contato K1 da esquerda alimenta a bobina paralelamente à B1. Dessa forma a bobina de K1 está alimentada por duas fontes paralelas, pelo botão B1 ou pelo contato K1 da esquerda (note aqui a presença do conectivo lógico “or”). Cassada uma das duas alimentações da bobina K1, ainda restará outra e ela continua energizada. Logo, na imagem da direita, vemos que mesmo que o botão B1 deixe de ser pressionado cessando a alimentação de da bobina por B1, a bobina ainda recebe alimentação pelo contato K1 da esquerda e continua ligada. Assim é necessário apenas um “clic” no botão para que o sistema seja acionado permanentemente¹³, sem a necessidade de pressão contínua sobre o botão.

É importante destacar que os circuitos elétricos controlados por contatores, possuem duas partes independentes, um circuito de força, e um de comando.

O circuito de força funciona apenas ligando e desligando o equipamento, por isso é mais simples. Ele passa pela parte mais robusta do contator, pode ser submetido a tensões maiores de trabalho e atua diretamente no acionamento das máquinas. Nos contatores estudados, foi verificado que essa parte do contator é dotada de um contato tripolar¹⁴ normalmente aberto.

Já o circuito de comando pode contemplar botões de comando, temporizadores, sensores, luzes para monitoramento, sistemas de segurança entre outros. Este circuito configura o funcionamento do equipamento e dá o sinal que aciona o circuito de força. Ele é submetido a tensões menores e passa pelo módulo auxiliar do contator, que possui contatos que são monopolares¹⁵ e menos robustos. Estes contatos podem ser todos do tipo

¹² Botoeiras podem possuir um botão e dois pares de contatos, um par normalmente aberto e um par normalmente fechado, a pressão do botão comuta os contatos durante o pressionamento, quando o botão deixa de ser pressionado os contatos voltam para o estado original

¹³ Para desativação do sistema pode ser instalado o contato normalmente fechado de outra botoeira entre o contato K1 da esquerda e a Bobina. Deste modo a pressão do segundo botão abre o contato e cessa a alimentação da bobina, rompendo o selo e desligando o sistema (o que funciona como um conectivo lógico “not”).

¹⁴ Contatos tripolares são aqueles em que três condutores podem ser ligados em três contatos que funcionam simultaneamente. São utilizados em circuitos trifásicos. Nestes casos, cada fase é ligada em um contato do contator tripolar. Diferentemente dos contatos monopolares que são alimentados por um único condutor, por apresentarem uma única fase na alimentação do equipamento

¹⁵ Contatos monopolares são utilizados em sistemas monofásicos, onde a alimentação ocorre por um único condutor, para a única fase presente. Diferentemente dos equipamentos trifásicos que requerem contatos tripolares por apresentarem uma alimentação trifásica que requer a presença de três condutores, um para cada fase.

normalmente fechado, todos do tipo normalmente aberto ou alguns de um tipo e outros de outro tipo, no mesmo módulo auxiliar. Isso oferece versatilidade ao funcionamento do módulo auxiliar, permitindo a construção de circuitos mais complexos, típicos nas funções de comando.

O principais elementos do contator industrial são: os núcleos ferromagnéticos fixo e móvel formados por chapas laminadas sobrepostas, a bobina, a mola de retorno do núcleo móvel, os terminais de ligação e o contato móvel. Nas figuras 112 e 113 temos o corte de um contator industrial, mostrando seus principais elementos. Quando a bobina está desenergizada (Figura 112) a mola afasta o núcleo móvel do núcleo fixo empurrando o contato móvel para longe dos contatos dos terminais, o que mantém o contato aberto. A alimentação elétrica da bobina (Figura 113), gera campo magnético que atrai o núcleo móvel com força superior a exercida pela mola movendo o contato normalmente aberto para os contatos dos terminais, de modo que é permitida a passagem de corrente elétrica entre os terminais 1 e 2 do contator.

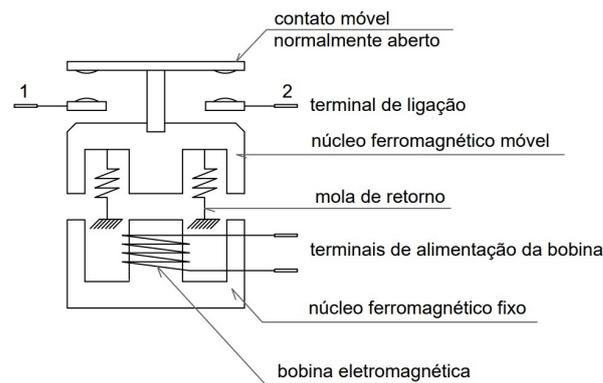


Figura 112 – Contator com a bobina desenergizada

Fonte: Produzida pelo autor com referência em Castro (2004, p.6)

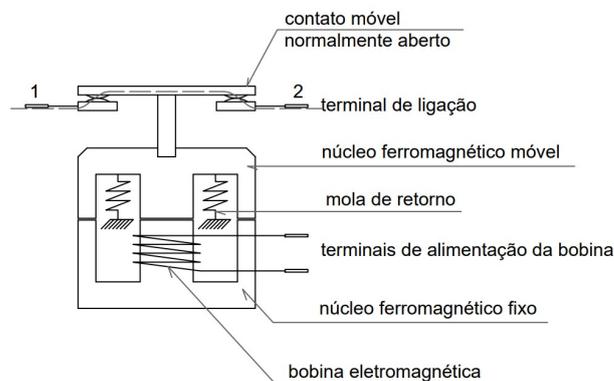


Figura 113 – Contator com a bobina energizada

Fonte: Produzida pelo autor com referência em Castro (2004, p.6)

F.3 Programação no controle da produção

Dizemos que um relé ou contator que tem apenas um contato, que pode estar aberto ou fechado, consegue armazenar um *bit* de informação. Quando associamos este dispositivo com outros 7, formando um conjunto de 8 *bits*, temos uma capacidade de armazenamento de informação de um *byte*, essa informação armazenada é descarregada quando o relé é acionado e realiza a sua função. Para se ter uma noção da capacidade de armazenamento de informação dos relés, considere um dispositivo de memória de computador usual de 512 Gigabytes de memória. Este dispositivo tem uma capacidade de memória de aproximadamente 4 trilhões de relés. Desse modo, processos de automação mais complexos requerem extensas associações de relés. E portanto a formação de painéis gigantescos, o que era comum nos primeiros computadores.

F.3.1 Controlador Lógico Programável - *CLP*

Com os avanços da microeletrônica surgiram os computadores mais modernos e compactos e os dispositivos de controle numérico, tais como o *CLP* (Controlador Lógico Programável). Assim, um processo complexo que demandaria um imenso painel de relés, pode ser controlado por um pequeno computador industrial de fácil programação, o *CLP* (Figura 114).



Figura 114 – *CLP* da marca **WEG**

Fonte: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/controlador-logico-programavel-clp/>> Acesso em: 24/02/2024

O dispositivo é dotado de uma memória, onde é descarregado um programa gerado por computador, ligado a um conjunto de pares de contatos, assemelhando-se a um módulo auxiliar de um contator industrial. E podem ser usados módulos de expansão com os quais é possível aumentar a quantidade de contatos comandados pelo mesmo *CLP*. Alguns modelos trazem um painel e a possibilidade de se fazer pequenos ajustes de comando utilizando a própria tela do aparelho. O fechamento e a abertura dos contatos é feita conforme o

programa descarregado. Além disso, o *CLP* dispensa o uso de temporizadores, arranjos de relés e outros. O circuito de comando do sistema é virtual e ocorre na memória do dispositivo, eliminando os complexos circuitos de comando físicos montados com relés. Daí vem a compacidade do *CLP* em relação aos painéis de relés. O único circuito elétrico físico necessário é o de força, onde os contatos do *CLP* alimentam diretamente os dispositivos ou, em caso de correntes e tensões elétricas mais robustas, alimentam contatores (muitas vezes tripolares) que alimentam os dispositivos.

O *CLP* surgiu com o atrativo de controlar processos da indústria manufatureira, de extrema eficiência tomou conta da indústria automobilística no século XX. Sua aceitação deveu-se a grande facilidade em sua programação. Utilizava-se da lógica de relés, a linguagem ladder, linguagem natural de eletricitistas, era fácil de entender, gerava menos código e cabia na pequena memória do *CLP* (LIMA, 2003).

A linguagem *ladder* é muito utilizada para a programação de dispositivos *CLP*. Nela os comandos utilizados fazem referência aos dispositivos eletrônicos típicos dos painéis eletromecânicos. Desse modo, para programar uma função de selo elétrico, por exemplo, o programador fará uso de comandos que fazem alusão a relés e contatos elétricos. Para programar uma função por tempo determinado o comando faz alusão à um temporizador. Os componentes essenciais para a construção de painéis de relés estão todos lá, só que de forma virtual. A diagramação do programa é muito semelhante aos diagramas elétricos de circuitos. Cada marca de dispositivo disponibiliza ao usuário o seu programa próprio para o seu dispositivo, de modo que existem variações nos programas de uma marca para outra. No entanto, dividem a mesma linguagem de programação.

F.3.2 Sistema de Controle Distribuído - *SDCD*

Os avanços tecnológicos possibilitaram o surgimento da tecnologia *SDCD* que distribui equipamentos de monitoramento e controle de processo pela planta industrial e os conecta em rede de acesso remoto.

Com o *SDCD*, é possível monitorar e controlar processos em tempo real, o que aumenta a eficiência e a segurança das operações. Além disso, essa tecnologia permite que os dados coletados sejam armazenados e analisados posteriormente, o que possibilita a identificação de problemas e a implementação de melhorias (GOES, 2023).

Essa tecnologia permite que o controle seja descentralizado e possa ser acessado remotamente por computadores pessoais. O que diminui a necessidade de acesso às áreas operacionais e a necessidade de salas de controle e ilhas de supervisão.

Com a criação do computador pessoal (PC), caíram os painéis de controle, as ilhas de supervisão se automatizaram, antes o que eram imensas mesas, cheias de displays e botões passaram a ser apenas um monitor e um teclado. Ilhas recheadas de supervisores passaram a serem desertas, basta apenas um supervisor, e às vezes nem é necessário (LIMA, 2003).

Desse modo o controle do processo passa a ser integrado às novas tecnologias. Antes o controle era feito por meio de painéis instalados na área operacional ou em salas de controle e eram controlados manualmente por botoeiras, conforme as orientações dos dados de processo obtidos em instrumentos de monitoramento, com visores, muitas vezes, instalados no local, demandando proximidade entre o operador e a produção. Com o *SDCD* o processo é monitorado e controlado por meio de microprocessadores industriais ou até mesmo computadores pessoais, conectados a uma rede integrada, que obtém dados dos instrumentos, avalia o processo e envia informações de controle para linha de produção de forma remota e automatizada. Deste modo os dados do processo e as informações de correção orientadas pelo recurso podem ser acessados de qualquer lugar e por qualquer operador ao mesmo tempo. O *SDCD* disponibiliza todos os recursos de uma imensa sala de controle em um pequeno chip.



Figura 115 – Sala de controle da usina nuclear de Chernobyl

Fonte: <<https://flickr.com/photos/bbcworldservice/5411039578>> Acesso em: 24/02/2024

F.3.3 soft starter

No momento do acionamento, os motores elétricos variam sua velocidade de rotação do zero à velocidade nominal em um curto intervalo de tempo, com isso são percorridos por uma corrente elétrica muito superior a corrente normal de trabalho, até que atinjam a rotação prevista e a corrente seja estabilizada. “Essa corrente pode ser bem

elevada, chegando a ser 8 vezes maior que a corrente nominal do motor” (MATTEDE, 2024).

Este fenômeno pode ser observado em instalações para ar-condicionado residencial em redes elétricas subdimensionadas. Muitas vezes é possível notar a diminuição instantânea da iluminação do ambiente no momento de acionamento do motor do condensador¹⁶ do aparelho. Por mais que a elevação da corrente de partida não seja perceptível, ou sua percepção seja amenizada, em redes elétricas residenciais adequadamente dimensionadas ou em aparelhos dotados de motores de menor potência, como geladeiras e ventiladores, ela está presente no acionamento de qualquer motor elétrico e causa alto consumo de energia elétrica e redução da vida útil do equipamento. Para contornar essa situação os eletrodomésticos mais modernos tem sido disponibilizados com a opção inverter, que nada mais é do que um dispositivo que controla a velocidade da partida do motor, aumentando-a gradativamente, evitando o pico de corrente.

Nos equipamentos industriais, muito mais robustos, este fenômeno é muito mais intenso, causando perdas significativas com desperdício de energia e danos aos equipamentos.

Existem alguns artifícios para evitar este fenômeno, entre eles a partida *estrela/triângulo*, o *soft starter* e o *inversor de frequência*.

Na partida *estrela/triângulo*, faz-se o uso de uma característica de alguns motores, de poder ser ligado em tensões diferentes, pela mudança da disposição das ligações das fases do motor. Nesse caso fazem-se duas ligações diferentes e um arranjo de contadores alterna entre as ligações. Em uma primeira ligação as fases são ligadas de modo que a tensão necessária no motor seja superior a tensão da rede, assim a tensão da rede se torna inferior a tensão nominal¹⁷ do motor, logo insuficiente para permitir à potência nominal¹⁸ do motor. Na segunda ligação, a ordem das fases garante que a tensão nominal do motor é igual a tensão da rede, assim ocorre a alimentação do motor com a sua potência nominal. Nesse processo uma associação de contadores ou um *CLP* aciona o equipamento no primeiro arranjo e depois de um curto intervalo de tempo alterna para o segundo arranjo. Desse modo o motor é acionado com potência baixa e em seguida com potência nominal diminuindo o intervalo de pico de corrente. Digamos que a tensão da rede onde o

¹⁶ O condensador é o componente do ar-condicionado responsável pela pressurização de um gás em seu interior, resultando a descompressão do sistema no vaporizador. Por efeito termodinâmico ocorre aquecimento do condensador e resfriamento do vaporizador. Nos modelos split, o condensador está presente na parte exterior e o vaporizador na parte interior do ambiente.

¹⁷ tensão nominal pode ser entendida com a tensão esperada de trabalho de um equipamento.

¹⁸ potência nominal pode ser entendida com a potência esperada de trabalho de um equipamento.

motor será ligado é de 220V, na ligação estrela o motor requer uma tensão de 380V, logo os 220V da rede se tornam inferiores à tensão nominal do motor. Na ligação triângulo o motor requer uma tensão nominal de 220V, igual a tensão da rede.

Já o *soft starter* é um dispositivo que utiliza componentes semi-condutores para controlar o fornecimento de tensão elétrica para o motor gradativamente “de forma crescente, ou seja, irá aumentar gradativamente, garantindo uma partida suave e sem a presença da corrente de pico” (MATTEDE, 2024).



Figura 116 – *Soft starter* da marca WEG

Fonte: <<https://www.eser.com.br/produto/15/weg-soft-starter-ssw06>>
Acesso em: 24/02/2024

Entre as vantagens deste dispositivo estão a variação contínua da tensão oferecida ao motor, o controle dos parâmetros dessa variação através de *display* e a possibilidade de redução gradativa da velocidade no desligamento. A Figura 117 compara a variação de corrente, no decorrer do tempo, entre os tipos de partida de motores mencionados.

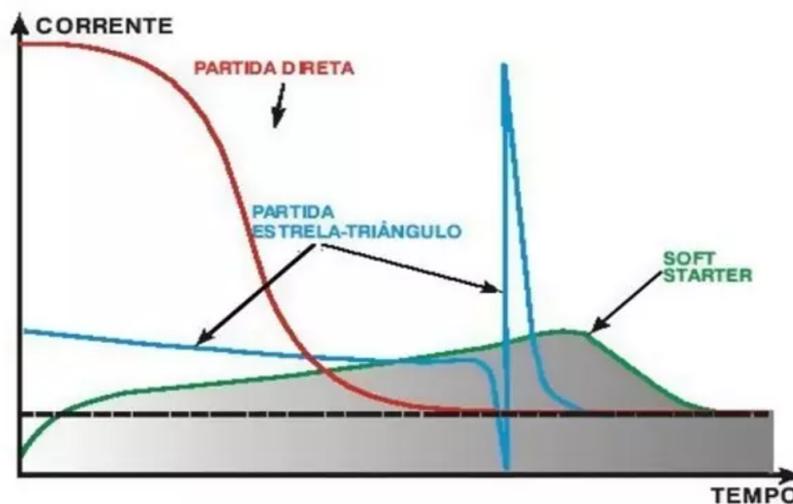


Figura 117 – Comparação entre partidas de motores

Fonte: (MATTEDE, 2024)

F.3.4 Inversor de frequência

Um motor é alimentado pela rede elétrica com frequência de 60Hz¹⁹. No entanto, sua rotação e seu torque, vão depender da tensão e das especificações do motor, além da frequência da rede. As partidas *estrela/triângulo* e o *soft starter* atuam na manipulação da tensão elétrica do motor para controlar sua rotação. Essa atuação ocorre em pequenos intervalos de tempo de partida ou de desligamento do motor, a permanência em tensões diferentes das especificadas durante a atividade do motor, podem danificá-lo.

Assim como o *soft starter* “Os inversores de frequência podem alimentar uma grande variedade de equipamentos, tais como: motores trifásicos, bombas e condicionadores de ar” (CARLOS, 2024). Mas ao invés de alterar a tensão destes equipamentos, os inversores manipulam a frequência para controlar o torque e a velocidade do motor.

Este controle não restringe o desempenho de um motor trifásico, apenas melhora sua eficiência. Estes motores são frequentemente usados em ambientes industriais e são especialmente comuns na tecnologia de acionamento (CARLOS, 2024).

Este dispositivo possui uma diversa gama de funcionalidades e parâmetros programáveis. Essa programação é feita por um *display* no equipamento com códigos que variam de marca para marca. As funções de cada comando e sua parametrização são disponibilizadas no manual do dispositivo.

Além do controle da partida e do desligamento do motor, o inversor de frequência possibilita a variação do torque e da velocidade de trabalho do motor a partir da manipulação da frequência fornecida. O dispositivo recebe os 60Hz da rede e fornece ao motor uma faixa que pode ir de 0 a 200Hz. Como não há manipulação da tensão, e sim da frequência, o motor pode funcionar em diferentes velocidade dentro da faixa disponibilizada pelo inversor sem perda de potência e sem sofrer danos. Entre outras funcionalidades, o dispositivo também permite a mudança de sentido de rotação e a frenagem por contracorrente. Nessa última, a corrente alternada recebida da rede é convertida para corrente contínua e fornecida ao motor gerando um campo magnético contrário ao gerado pela rotação do motor, fazendo com que o motor pare rapidamente, com desacelerações parametrizáveis.

¹⁹ frequência padrão da rede elétrica nacional



Figura 118 – Inversor de frequência da marca *Siemens*

Fonte: < https://www.mercadolivre.com.br/inversor-de-frequncia-v20-200-240v-1ac-15kw-78a-220v/p/MLB27200470?item_id=MLB4184141526 > Acesso em: 24/02/2024

APÊNDICE G – Complemento do Capítulo 4

G.1 Complemento da Seção 4.1

G.1.1 Validação de Argumentos

Como visto em 2.2.2, a argumentação é fundamental em diversas situações, na matemática, na computação, na filosofia e em outras ciências exatas e humanas. Destacaremos duas aplicações cotidianas: A primeira é quando se deseja expor uma ideia, o poder de convencimento depende da argumentação. A segunda é quando somos expostos a uma apresentação de ideias. Neste caso é importante que o indivíduo compreenda os mecanismos argumentativos, para estar apto a avaliar a argumentação que lhe foi oferecida. E então poder julgar o valor da ideia apresentada e, assim, se proteger de tentativas de manipulação e enganação. Esta última situação tem, cada vez mais, feito parte da vida das pessoas, através da propagação de *Fake News*¹, que é favorecida pelo alcance das redes sociais e das mídias sociais como explorado por Neves e Borges (2020), mas também pelo uso de fragmentos de notícias verdadeiras na argumentação em favor de uma notícia falsa, como destaca Sanchotene e Marques (2021), o que aumenta o desafio de avaliar a argumentação em favor de uma ideia.

Definição G.1.1 (O que é Argumento) Gomes e Silva (2008, p.19) “*Chamamos de argumento à afirmação de que a seqüência finita $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ de proposições tem como consequência a proposição final Q .*”

Definição G.1.2 (Argumento Válido) Daghlian (1995) *define argumento válido como aquele em que, sempre que todas as premissas: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ são verdadeiras, a conclusão Q também é.*

O caso em que todas as *premissas* são verdadeiras é aquele em que a proposição $\nu(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n) = T$. Logo, pela definição G.1.2, o argumento é válido quando:

¹ “Embora enquanto expressão seja considerada nova, o movimento denominado fake news tem sua origem no século XIX. Este termo se tornou mais frequente através da imprensa internacional tendo seu auge na campanha presidencial realizada nos Estados Unidos da América, onde alguns dos candidatos foram vítimas de diversas notícias falsas que impactariam no desempenho de sua campanha eleitoral” (NEVES; BORGES, 2020).

sempre que $\nu(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n) = T$, temos que $\nu(Q) = T$. Isto representa o resultado: $\nu(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n \rightarrow Q) = T$.

Dito isso, representaremos um *argumento* por: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n \Rightarrow Q$ e diremos que o mesmo é *válido* quando: $\nu(P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n \rightarrow Q) = T$.

G.1.1.1 Validação de Argumento com a construção da tabela verdade

Para verificar a validade de um argumento basta construir a tabela verdade e verificar se a condicional $P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge \dots \wedge P_n \rightarrow Q$ é satisfeita. Se sim, temos um argumento *válido*, se não, diremos que o argumento é *falho*. Daghlian (1995) ressalta que basta verificar se ocorre TF^2 , respectivamente, como resultados de $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ e Q na tabela verdade. Neste caso o *argumento* é *falho*, se não ocorre TF na tabela verdade, o *argumento* é *válido*.

Exemplo G.1.1 (Verificando se o argumento $P, Q \Rightarrow R$ é válido) Para isso basta montarmos a tabela verdade e verificarmos se nela ocorrem os valores TF respectivamente para $P \wedge Q$ e R . Veja a Tabela 30 abaixo.

P	Q	R	$P \wedge Q$	R
T	T	T	T	T
<i>T</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	T	F
T	F	T	F	T
T	F	F	F	F
F	T	T	F	T
F	T	F	F	F
F	F	T	F	T
F	F	F	F	F

Tabela 30 – **Tabela verdade: $P \wedge Q$ e R**

Fonte: Produzida pelo autor

Verificamos na segunda linha da Tabela 30 a ocorrência do “ TF ”, o que invalida o argumento. Ou seja, há um caso em que as premissas são todas verdadeiras e a conclusão é falsa. Logo, pela Definição G.1.2 temos que o argumento é **falho**.

² Para mantermos o padrão de linguagem desta seção utilizamos os valores lógicos T e F. No entanto, em seu texto Daghlian (1995) usa os símbolos 1 e 0 ao invés de T e F para representar o valor lógico da proposição. Está é uma linguagem comum entre os autores que escrevem sobre Lógica *Booleana*. Veja em 4.3

Exemplo G.1.2 (Verificando a validade de $\neg P \vee \neg Q, P \wedge \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$) Para verificar a validade do argumento vamos construir a tabela verdade (Tabela 31).

P	Q	$\neg P$	$\neg Q$	$\neg P \vee \neg Q$	$P \wedge \neg Q$	$P \wedge Q$	$(\neg P \vee \neg Q) \wedge (P \wedge \neg Q)$	$\neg(P \wedge Q)$
T	T	F	F	F	F	T	F	F
T	F	F	T	T	T	F	T	T
F	T	T	F	T	F	F	F	T
F	F	T	T	T	F	F	F	T

Tabela 31 – **Tabela:** $(\neg P \vee \neg Q) \wedge (P \wedge \neg Q)$ e $\neg(P \wedge Q)$
Fonte: Produzida pelo autor

Verifique que a segunda linha da Tabela 31 é o único caso em que $(\neg P \vee \neg Q) \wedge (P \wedge \neg Q)$ é verdadeiro, e nesta mesma linha também se verifica que $\neg(P \wedge Q)$ é verdadeiro. Logo, não ocorre “TF”. Então a Definição G.1.2 garante que o argumento $\neg P \vee \neg Q, P \wedge \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$ é **válido**.

Note no Exemplo 31 que os valores da coluna $(\neg P \vee \neg Q)$ são idênticos aos valores da coluna $\neg(P \wedge Q)$. Isso era esperado, uma vez que $(\neg P \vee \neg Q) \Leftrightarrow \neg(P \wedge Q)$ pela Lei de De Morgan. De fato, em uma situação desse tipo, onde uma das premissas é logicamente equivalente a conclusão, é fácil perceber que validade da conclusão ocorre sempre que a validade da tal premissa ocorrer, o que a torna uma premissa supérflua, é óbvio que ela leva a conclusão. A verificação da validade do argumento acaba dependendo somente da análise das demais premissas e da conclusão.

É relevante observar que a argumentação pode ser verificada no âmbito da sintaxe e da linguagem objeto, não importando o significado metalinguístico ou os valores semânticos possíveis para as premissas. Se uma premissa, por mais absurdo significado metalinguístico que possa assumir, for considerada válida, as regras semânticas da Lógica Proposicional forem respeitadas e a Definição G.1.2 for satisfeita temos um argumento válido, para qualquer valor semântico que se deseje atribuir às proposições elementares.

É importante que se tenha em mente que a validade de um argumento depende exclusivamente da relação existente entre as premissas e a conclusão, ou seja, não interessa saber se a conclusão ou as premissas são verdadeiras quando olhadas como proposições independentes umas das outras (GOMES; SILVA, 2008, p.20).

Exemplo G.1.3 (Validação de um argumento pouco intuitivo) Considere as premissas: “João é o Sol ou João é a Lua”, “o Sol é Azul e a Lua é Verde” e a conclusão “Se João é o Sol então João é azul”.

Para verificar a validade deste argumento, considere as proposições $P = \text{João é o Sol}$, $Q = \text{João é a Lua}$, $R = \text{O Sol é Azul}$, $S = \text{A lua é verde}$. Provar a validade do argumento “João é o Sol ou João é a Lua”, “o Sol é Azul e a Lua é Verde”, então, “Se João é o Sol então João é azul” corresponde a provar: $P \vee Q, R \wedge S \Rightarrow P \rightarrow S$. Logo, basta verificar que $(P \vee Q) \wedge (R \wedge S) \rightarrow (P \rightarrow S)$. Veja a Tabela 32.

P	Q	R	S	$P \vee Q$	$R \wedge S$	$(P \vee Q) \wedge (R \wedge S)$	$P \rightarrow S$
T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	F	T	F	F	F
T	T	F	T	T	F	F	T
T	T	F	F	T	F	F	F
T	F	T	T	T	T	T	T
T	F	T	F	T	F	F	F
T	F	F	T	T	F	F	T
T	F	F	F	T	F	F	F
F	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	F	T	F	F	T
F	T	F	T	T	F	F	T
F	T	F	F	T	F	F	T
F	F	T	T	F	T	F	T
F	F	T	F	F	F	F	T
F	F	F	T	F	F	F	T
F	F	F	F	F	F	F	T

Tabela 32 – Tabela verdade: Exemplo G.1.3

Fonte: Produzida pelo autor

Note que a veracidade de $(P \vee Q) \wedge (R \wedge S)$ só ocorre na 1^a, 5^a e 9^a linhas. E nestas mesmas linhas $P \rightarrow S$ também é verdadeiro, satisfazendo a Definição G.1.2. Logo, podemos afirmar que $P \vee Q, R \wedge S \Rightarrow P \rightarrow S$ é um argumento válido, ou seja: “João é o Sol ou João é a Lua”, “o Sol é Azul e a Lua é Verde” implica que “Se João é o Sol então João é azul”, é um argumento válido.

A validação de argumentos com o uso de tabelas verdade, demanda uma análise do valor lógico de cada proposição que compõe o argumento para construção da tabela.

No entanto, uma vez verificada, a validade do argumento independe dos valores lógicos das proposições. O argumento é válido ou é falho independentemente do valor lógico que qualquer proposição possa assumir. Então ela pode ser discutida sem a necessidade de construção de tabelas verdade ou verificação do valor lógico de cada premissa, desde que adotemos técnicas dedutivas adequadas.

G.1.1.2 Dedução Natural, Prova Direta e Prova Indireta

Em muitos casos, o custo³ da construção de uma tabela verdade para verificação da validade de um argumento, torna-se muito alto. Nestes casos, podemos recorrer a outros mecanismos, entre eles a *dedução natural*.

A utilidade do mecanismo da *dedução natural* está ancorada na garantia de poder substituir as tabelas verdade, produzindo resultados corretos e na garantia de que qualquer argumento válido possa ser provado. Tais garantias são dadas pelos Teoremas G.1.1 e G.1.2, a seguir.

Hut e Ryan (2004) Refere-se a argumento válido, como um sequencial de fórmulas lógicas $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ e ψ em que: $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \vdash \psi$. O significado sintático é o mesmo já discutido neste texto, onde: $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \rightarrow \psi$. Além disso, neste mesmo autor, a validade semântica do argumento é representada por $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \models \psi$, que tem o mesmo significado que $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \Rightarrow \psi$, ou seja, sempre que $\nu(\phi_1 \wedge \phi_2 \wedge \dots \wedge \phi_n) = T$ temos que $\nu(\psi) = T$.

Teorema G.1.1 (Teorema da Correção) [Hut e Ryan (2004, p.46)]

O Teorema da Correção garante que, uma vez provado pelo método da dedução natural, um argumento é válido para qualquer valor semântico que possa ser atribuído às premissas, das quais a conclusão será uma consequência lógica. Isto permite que o método dedutivo seja utilizado sem a necessidade de verificação por meio de tabela verdade. Ou seja, uma vez validado do ponto de vista sintático, sua validade semântica está dada. “[...] Seja $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ e ψ fórmulas lógicas proposicionais. Se $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \vdash \psi$ é válido, então $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \models \psi$ é válido” (tradução nossa)⁴.

Teorema G.1.2 (Teorema da Completude) [Hut e Ryan (2004, p.49)]

³ Souza (2015, p.112) chama de *custo*, o número de linhas de uma tabela verdade em função da quantidade de variáveis envolvidas. E o grau de dificuldade que se tem para verificar a validade de cada linha da tabela.

⁴ Original: “[...] Let $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ and ψ be propositional logic formulas. If $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \vdash \psi$ is valid, then $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \models \psi$ holds.

O **Teorema da Completude** garante que o sistema de dedução natural é completo, ou seja, qualquer argumento válido pode ser provado com as regras de inferência do método dedutivo. Uma vez dotado de validade semântica, um argumento pode ser provado com a sintaxe da Lógica Proposicional. “[...] sempre que $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \models \psi$ vale, então existe uma prova de dedução natural para o sequencial $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \vdash \psi$ ” (tradução nossa)⁵.

As demonstrações dos teoremas G.1.1 e G.1.2 acima, são dadas por Hut e Ryan (2004, p. 46 - 50).

Para utilizarmos a dedução natural basta conhecermos um conjunto de regras que sejam válidas e aplicá-las com o rigor sintático da Lógica Proposicional. Daghlian (1995, p.56). Chama estas regras de “regras de inferência”.

Na dedução natural, temos tal coleção de regras de prova. Elas permitem inferir fórmulas de outras fórmulas. Aplicando estas regras em sucessão, podemos inferir uma conclusão a partir de um conjunto de premissas (HUT; RYAN, 2004, p.5) *tradução nossa*⁶.

Hut e Ryan (2004), principal referência para esta subseção, apresenta algumas regras de prova fundamentais para a dedução natural. Nestas regras, acima da linha temos as premissas, abaixo da linha temos a conclusão e à direita temos o símbolo de referência que adotaremos para mencionar a utilização da regra na construção dos argumentos. Os símbolos ϕ e ψ irão denotar fórmulas lógicas ou proposições e o símbolo \perp irá denotar uma contradição. Além disso, os símbolos à direita da regra serão denotados por i quando o resultado da aplicação da regra introduzir um conectivo e serão denotados por e quando ocorrer a eliminação de um conectivo.

Regra da Dupla Negação

Esta regra permite concluir que a validade da negação da negação de um argumento equivale a validade do argumento.

$$\frac{\neg\neg\phi}{\phi} \neg\neg e \qquad \frac{\phi}{\neg\neg\phi} \neg\neg i$$

Regra da Disjunção

⁵ Original: [...] whenever $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \models \psi$ holds, then there exists a natural deduction proof for the sequent $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n \vdash \psi$.

⁶ Original: In natural deduction, we have such a collection of proof rules. They allow us to infer formulas from other formulas. By applying these rules in succession, we may infer a conclusion from a set of premises.

$$\frac{\phi}{\phi \vee \psi} \vee i_1 \qquad \frac{\psi}{\phi \vee \psi} \vee i_2$$

Pela Regra da Disjunção temos, por $\vee i_1$ e $\vee i_2$, respectivamente, que a validade de ϕ garante a validade de $\phi \vee \psi$ assim como a validade de ψ , também, garante a validade de $\phi \vee \psi$.

Além disso, podemos eliminar a disjunção quando duas fórmulas ϕ e ψ tal que $\phi \vee \psi$, validam uma mesma conclusão \aleph .

$$\frac{\phi \vee \psi \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \phi & \psi \\ \hline \vdots & \vdots \\ \hline \aleph & \aleph \\ \hline \end{array}}{\aleph} \vee e$$

Regra da Conjunção

$$\frac{\phi \quad \psi}{\phi \wedge \psi} \wedge i$$

De acordo com a regra da conjunção, uma vez válido ϕ e ψ separadamente, podemos concluir a partir de i a validade de $\phi \wedge \psi$. Desta mesma regra derivam e_1 e e_2 que permitem, respectivamente, concluir a validade de ϕ e ψ , verificada a validade de $\phi \wedge \psi$. e_1 e e_2 permitem a eliminação da conjunção.

$$\frac{\phi \wedge \psi}{\phi} \wedge e_1 \qquad \frac{\phi \wedge \psi}{\psi} \wedge e_2$$

Regra da Contradição

$$\frac{\perp}{\phi} \perp e \qquad \frac{\phi \quad \neg\phi}{\perp} \neg e$$

A regra $\perp e$ permite que qualquer proposição ou fórmula possa ser provada a partir de uma contradição. De fato uma implicação $P \rightarrow Q$ é falsa somente no caso em que $\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$ (Veja na subSeção 4.2.1.4). Se $P = \perp$ (P é uma contradição) temos que $\nu(P) = F$ sempre, logo não há o caso em que $\nu(P) = T$, daí não há o caso em que

$\nu(P) = T$ e $\nu(Q) = F$, assim temos que, para $P = \perp$ $P \rightarrow Q$ é válido qualquer que seja Q . Já $\neg e$ é equivalente a $\phi \wedge \neg\phi$ que sempre falso pelo **Princípio da não contradição**.

Além disso, se uma suposição gera como consequência uma contradição, temos que vale a negação da suposição inicial.

$$\boxed{\begin{array}{c} \phi \\ \vdots \\ \perp \end{array}}$$

$$\frac{}{\neg\phi} \quad \neg i$$

Regra da Implicação - *Modus Ponens*

Esta regra permite a eliminação da implicação (\rightarrow) em um argumento.

$$\frac{\phi \quad \phi \rightarrow \psi}{\psi} \rightarrow e$$

De acordo com a regra *Modus Ponens*, uma vez validada a premissa ϕ e a premissa $\phi \rightarrow \psi$, temos garantida a validade da conclusão ψ .

Mas também podemos validar a implicação, dado um conjunto de fórmulas ou proposições. Se em um conjunto de fórmulas ou proposições onde aparecem ϕ e ψ , elas são ambas válidas, temos que $\phi \rightarrow \psi$.

$$\boxed{\begin{array}{c} \phi \\ \vdots \\ \psi \end{array}}$$

$$\frac{}{\phi \rightarrow \psi} \rightarrow i$$

Existem outras regras úteis, derivadas das regras fundamentais, entre as quais destacaremos duas:

Modus Tollens

Derivada da Regra *Modus Ponens*

$$\frac{\phi \rightarrow \psi \quad \neg\psi}{\neg\phi} \text{ mt}$$

De acordo com a regra *Modus Tollens*, uma vez validada a premissa $\phi \rightarrow \psi$ e a premissa $\neg\psi$, temos garantida a validade da conclusão $\neg\phi$.

Silogismo Disjuntivo (*sd*)

Derivada da Regra da Disjunção

$$\frac{\phi \vee \psi \quad \neg\phi}{\psi} \text{ sd}$$

De acordo com a regra do Silogismo Disjuntivo (*sd*), em uma disjunção entre proposições diferentes, a negação de uma das proposições garante que a outra seja verdadeira.

Exemplo G.1.4 (Verificação por dedução natural) *Vamos verificar a validade do argumento $\neg P \vee \neg Q, P \wedge \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$ trazido pelo Exemplo G.1.2, utilizando a dedução natural.*

1	$\neg P \vee \neg Q$	Premissa
2	$P \wedge \neg Q$	Premissa
3	P	$\wedge e_1$ 2
4	$\neg\neg P$	$\neg\neg i$ 3
5	$\neg Q$	<i>sd</i> 1, 4
6	$P \wedge Q$	suponha
7	Q	$\wedge e_2$ 6
8	\perp	$\neg e$ 5, 7
9	$\neg(P \wedge Q)$	$\neg i$ 6 - 8

Nas linhas 1 e 2 do quadro acima temos as premissas do argumento. Na linha 3 conclui-se a validade de P , a partir da regra de eliminação da conjunção em $P \wedge \neg Q$ (linha 2). Na linha 4 aplicamos a regra da negação da negação em P (linha 3) para obter $\neg\neg P$. Na linha 5 consideramos a premissa $\neg P \vee \neg Q$ (linha 1) e a negação de $\neg P$ (linha 4), de onde concluímos a validade de $\neg Q$ a partir da regra do Silogismo Disjuntivo. Na linha 6 supõe-se a validade de $P \wedge Q$. Na linha 7 verifica-se a validade de Q , aplicando-se a regra da eliminação da conjunção em $P \wedge Q$ (linha 6). Na linha 8 verifica-se a contradição entre as afirmações Q (linha 7) e $\neg Q$ (linha 5). Como a afirmação que leva a contradição observada na linha 8, foi $P \wedge Q$, na linha 6, concluímos com a regra da inserção da negação, que vale $\neg(P \wedge Q)$.

Mas como já havia sido observado no Exemplo G.1.2 a primeira premissa deste argumento é logicamente equivalente à conclusão o que a torna uma premissa supérflua, inevitavelmente $\neg P \vee \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$ já que $\neg P \vee \neg Q \Leftrightarrow \neg(P \wedge Q)$ pela Lei de De Morgan. Então poderíamos simplificar nosso argumento e provar apenas que: $P \wedge \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$. Veja o Exemplo G.1.5.

Exemplo G.1.5 (Verificação por dedução natural) *Vamos verificar a validade do argumento $P \wedge \neg Q \Rightarrow \neg(P \wedge Q)$ por meio da dedução natural.*

1	$P \wedge \neg Q$	Premissa
2	$\neg Q$	$\wedge e_2$ 1
3	$P \wedge Q$	suponha
4	Q	$\wedge e_2$ 3
5	\perp	$\neg e$ 2, 4
6	$\neg(P \wedge Q)$	$\neg i$ 3 - 5

Na linha 1 do quadro acima temos a premissa do argumento. Na linha 2 conclui-se a validade de $\neg Q$, a partir da regra de eliminação da conjunção em $P \wedge \neg Q$ (linha 1). Na linha 3 supõe-se a validade de $P \wedge Q$. Na linha 4 verifica-se a validade de Q , aplicando-se a regra da eliminação da conjunção em $P \wedge Q$ (linha 3). Na linha 5 verifica-se a contradição entre as afirmações Q (linha 4) e $\neg Q$ (linha 2). Como a afirmação que leva a contradição observada na linha 5, foi $P \wedge Q$, na linha 3, concluímos com a regra da inserção da negação, que vale $\neg(P \wedge Q)$.

Nestes exemplos utilizamos dois mecanismos muito comuns na validação de argumentos, o da *prova direta* e o da *prova indireta*, também conhecido como método da *prova por contradição* ou prova por *redução ao absurdo*.

O primeiro, foi utilizado para provar a validade de P e a validade de Q , onde a partir da premissa $P \wedge \neg Q$ (linha 2) e das regras de inferência (regra de eliminação da conjunção - $\wedge e_1$ e $\wedge e_2$) chegamos à validade de P e Q (linhas 3 e 4). Neste mecanismo de demonstração ou validação de argumentos, as regras de inferência, bem como as equivalências lógicas, são utilizadas para se chegar na conclusão desejada a partir das premissas.

O segundo mecanismo foi utilizado nas linhas 5 a 8. Onde, na linha 5, supõe-se a negação da conclusão como premissa e a partir das regras de inferência chega-se a uma

contradição, linha 7. Logo pela regra $\neg i$ de introdução da negação, chegou-se a negação da negação da conclusão, ou seja, trata-se da validade da conclusão, pela regra da negação da negação ($\neg\neg i$ ou $\neg\neg e$). “Então, para mostrar a validade de um argumento por prova ou demonstração indireta introduz-se a *negação da conclusão* como *premissa provisória* e deduz-se uma *contradição* [...]” (DAGHLIAN, 1995, p.69).

Deixamos como recomendação de leitura, Hut e Ryan (2004, p.28 - 53), Daghlian (1995, p.65 - 88) e Souza (2015, p.110 - 164), que trazem aprofundamentos re lavantes, inerentes outros mecanismos de validação de argumentos e técnicas dedutivas, muito úteis à computação e à elaboração de provas matemáticas, entre outras. Neste texto, a apreciação de tal leitura ficará por aqui, para não nos concentrarmos em conceitos que vão além do escopo desta proposta.

G.1.2 Redução de Conectivos

Os conectivos lógicos de: *negação*: “ \neg ” (4.2.1.1), *conjunção*: “ \wedge ” (4.2.1.2), *disjunção*: “ \vee ” (4.2.1.3), *condicional*: “ \rightarrow ” (4.2.1.4), *bi condicional*: “ \leftrightarrow ” (4.2.1.5), *disjunção exclusiva*: “ $\underline{\vee}$ ” (4.2.1.6) podem ser reduzidos, sem prejuízo sintático ou semântico, apenas aos conectivos: *negação*: “ \neg ” (4.2.1.1), *conjunção*: “ \wedge ” (4.2.1.2), *disjunção*: “ \vee ” (4.2.1.3). De forma que as proposições compostas pelos conectivos “ \rightarrow ”, “ \leftrightarrow ”, $\underline{\vee}$ podem ser substituídas por equivalentes lógicas formadas apenas pelos conectivos: \neg , \wedge , \vee .

De acordo com a Definição 4.2.2 duas proposições são equivalentes quando suas tabelas verdade são idênticas. O que é observado nas equivalências a seguir:

Exemplo G.1.6 (Supressão do conectivo (\rightarrow) Condicional) $(P \rightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg P \vee Q)$: *permite que o conectivo \rightarrow seja substituído pelo conectivo \vee . Esta equivalência pode ser verificada pela identidade entre as tabelas verdade de $(P \rightarrow Q)$ e $(\neg P \vee Q)$ na Tabela 11.*

Exemplo G.1.7 (Supressão do conectivo (\leftrightarrow) Bi Condicional) $(P \leftrightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$: *permite que o conectivo \leftrightarrow seja substituído pelos conectivos \neg , \vee e \wedge . Esta equivalência pode ser verificada pela identidade entre as tabelas verdade de $(P \leftrightarrow Q)$ e $(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$. Compare a Tabela 6 vista anteriormente com a Tabela 33 a seguir.*

P	Q	$\neg P$	$\neg Q$	$(\neg P \vee Q)$	$(\neg Q \vee P)$	$(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$
T	T	F	F	T	T	T
T	F	F	T	F	T	F
F	T	T	F	T	F	F
F	F	T	T	T	T	T

Tabela 33 – **Tabela Verdade:** $(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$

Fonte: Produzida pelo autor

Exemplo G.1.8 (Supressão do conectivo ($\underline{\vee}$) Disjunção Exclusiva) A Disjunção exclusiva, também pode ser substituída pelos conectivos \neg , \wedge , \vee . Já que $(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow (P \wedge \neg Q) \vee (Q \wedge \neg P)$. Veja a demonstração pelo método dedutivo.

Utilizando a Tabela 8 obtemos que: $(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow \neg(P \leftrightarrow Q)$. E da Tabela 33 obtemos que: $(P \leftrightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$. Daí temos que:

$$(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow \neg(P \leftrightarrow Q) \Leftrightarrow \neg((\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P))$$

$$\Leftrightarrow$$

$$(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow \neg((\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P))$$

$$\Leftrightarrow^7$$

$$(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow \neg(\neg P \vee Q) \vee \neg(\neg Q \vee P)$$

$$\Leftrightarrow^8$$

$$(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow (\neg\neg P \wedge \neg Q) \vee (\neg\neg Q \wedge \neg P)$$

$$\Leftrightarrow^9$$

$$(P \underline{\vee} Q) \Leftrightarrow (P \wedge \neg Q) \vee (Q \wedge \neg P)$$

As fórmulas lógicas escritas a partir desta redução de conectivos ao conjunto $\{\neg, \wedge, \vee\}$ são chamadas de *formas normais*¹⁰. Que podem ser: *forma normal conjuntiva* ou *forma normal disjuntiva*.

⁷ Pela Lei de De Morgan (propriedade 16, Anexo D)

⁸ Pela Lei de De Morgan (propriedade 17, Anexo D)

⁹ Pela Tabela 1

¹⁰ Para saber mais sobre *formas normais* consulte Souza (2015, p.89-93) e Hut e Ryan (2004, p.53 - 58)

G.1.2.1 Forma normal conjuntiva (*fnc*)

É a forma de se representar uma fórmula lógica apenas com o conjunto de conectivos $\{\neg, \wedge\}$.

Exemplo G.1.9 ($(P \leftrightarrow Q)$ na *fnc*) *Como vimos no Exemplo G.1.7, temos que: $(P \leftrightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$, o que significa que a fórmula lógica $(P \leftrightarrow Q)$ é equivalente a $(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$ na **forma normal conjuntiva**. Basta tomarmos $(\neg P \vee Q) = H$ e $(\neg Q \vee P) = R$ e teremos: $H \wedge R$, uma fórmula escrita apenas com o conjunto de conectivos $\{\neg, \wedge\}$.*

G.1.2.2 Forma normal disjuntiva (*fnd*)

É a forma de se representar uma fórmula lógica apenas com o conjunto de conectivos $\{\neg, \vee\}$.

Exemplo G.1.10 (Escrevendo $(P \leftrightarrow Q)$ na *fnd*) $(P \leftrightarrow Q)$

$$\Leftrightarrow^{11}$$

$$(\neg P \vee Q) \wedge (\neg Q \vee P)$$

$$\Leftrightarrow^{12}$$

$$((\neg P \vee Q) \wedge \neg Q) \vee ((\neg P \vee Q) \wedge P)$$

$$\Leftrightarrow^{13}$$

$$((\neg P \wedge \neg Q) \vee (Q \wedge \neg Q)) \vee ((\neg P \wedge P) \vee (Q \wedge P))$$

$$\Leftrightarrow^{14}$$

$$((\neg P \wedge \neg Q) \vee \perp) \vee (\perp \vee (Q \wedge P))$$

$$\Leftrightarrow^{15}$$

$$(\neg P \wedge \neg Q) \vee (Q \wedge P)$$

Basta tomarmos $(\neg P \wedge \neg Q) = H$ e $(Q \wedge P) = R$ que teremos: $H \vee R$, uma fórmula lógica representada no conjunto de conectivos $\{\neg, \vee\}$, ou seja, na **forma normal disjuntiva**.

¹¹ como já mostrado em G.1.7 e G.1.9

¹² propriedade distributiva da conjunção sobre a disjunção, propriedade (12) do Anexo D

¹³ propriedade distributiva da conjunção sobre a disjunção, propriedade (12) do Anexo D

¹⁴ $(Q \wedge \neg Q)$ e $(\neg P \wedge P)$ são contradições

¹⁵ A disjunção de qualquer proposição H com a contradição equivale a própria proposição H

Souza (2015, p.88) traz que os alfabetos de conectivos $\{\neg, \wedge\}$ e $\{\neg, \vee\}$ são completos, daí a completude da *forma normal conjuntiva* e a completude da *forma normal disjuntiva*, garantem que qualquer proposição lógica possa ser representada com o uso dos conectivos lógicos $\{\neg, \wedge, \vee\}$, apenas.

G.2 Operações com Conjuntos e Funções *Booleanas*

Considere um conjunto Q de elementos dotados de uma certa propriedade δ . Agora tome um elemento α qualquer, que pode ou não ser dotado da propriedade δ , estabelecida. Caso o elemento α seja dotado da propriedade δ , diremos que o elemento α pertence ao conjunto Q ($\alpha \in Q$). Caso o elemento α não seja dotado da propriedade δ , diremos que o elemento α não pertence ao conjunto Q ($\alpha \notin Q$). Essa situação pode ser interpretada em termos de Lógica: seja a proposição $a = \alpha$ pertence ao conjunto Q , temos que $\bar{a} = \alpha$ não pertence ao conjunto Q . Veja que a dicotomia dos valores semânticos da Lógica *Booleana* podem ser aplicados, podemos atribuir o valor $a = 1$ para a validade da proposição a e $a = 0$ para a validade da proposição \bar{a} .

Dessa forma, as Funções *Booleanas* podem ser aplicadas nas situações de operações com conjuntos. Com a operação de *complemento* de um conjunto sendo análoga a função *not*. Com a operação de *interseção* (\cap) entre dois conjuntos sendo análoga a função *and* (\cdot), já que elementos da interseção são aqueles que pertencem a A **e** pertencem a B . Com a operação de *união* (\cup) entre dois conjuntos sendo análoga a função *or* ($+$), já que os elementos que pertencem à união são aqueles que pertencem a A **ou** pertencem a B . E com a operação de *diferença* ($-$) entre dois conjuntos sendo análoga a um híbrido das funções *and* e *not*, já que os elementos que pertencem a diferença, digamos, $A - B$ são aqueles que pertencem a A **e não** pertencem a B o que equivale a $a \cdot \bar{b}$.

Nos casos particulares que veremos a seguir, considere dois conjuntos A e B . Com elementos do tipo α, β, ω e θ , tais que: $\alpha \in A$ e $\alpha \notin B$; $\beta \notin A$ e $\beta \in B$; $\omega \in A$ e $\omega \in B$; $\theta \notin A$ e $\theta \notin B$. E a e b são proposições, tais que a representa a propriedade de um elemento pertencer ao conjunto A e b representa a propriedade de um elemento pertencer ao conjunto B .

Complemento de um conjunto e função not

Note que o *complemento* do conjunto A (\bar{A}) contempla todos os elementos que não pertencem ao conjunto A , ou seja $\bar{A} = \{\beta, \theta\}$. Por outro lado, $\bar{a} = 1$ apenas nos casos em que $a = 0$, note que para α $a = 1$, para β $a = 0$, para ω $a = 1$ e para θ $a = 0$. Logo

$\bar{a} = 1$ apenas para β e θ . Dito isso, temos o mesmo resultado para as operações \bar{A} e \bar{a} . A Figura 119 ilustra a operação de negação \bar{a} interpretada como o complemento do conjunto A .

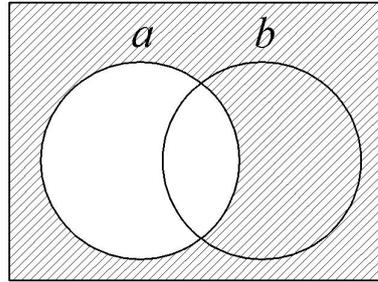


Figura 119 – \bar{a}
Fonte: Produzida pelo autor

Interseção entre dois conjuntos e função *and*

Note que o resultado da operação de *interseção* entre dois conjuntos A e B contempla os elementos que fazem parte simultaneamente dos dois conjuntos. Logo $A \cap B = \{\omega\}$. Por outro lado, $a \cdot b = 1$ apenas nos casos em que $a = 1$ e $b = 1$, note que para α $a = 1$ e $b = 0$, para β $a = 0$ e $b = 1$, para ω $a = 1$ e $b = 1$ e para θ $a = 0$ e $b = 0$. Logo $a \cdot b = 1$ apenas para ω . Dito isso, temos o mesmo resultado para as operações $A \cap B$ e $a \cdot b$. A Figura 120 ilustra a operação $a \cdot b$ interpretada como uma *interseção* $A \cap B$, a solução de $a \cdot b$.

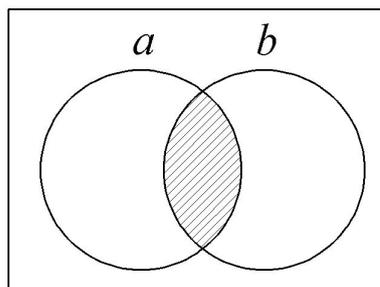


Figura 120 – $a \cdot b$
Fonte: Produzida pelo autor

União entre dois conjuntos e função *or*

Note que o resultado da operação de *união* entre dois conjuntos A e B contempla os elementos que fazem parte de um ou de outro dos dois conjuntos. Logo $A \cup B = \{\alpha, \beta, \omega\}$. Por outro lado, $a + b = 1$ em qualquer caso, exceto quando $a = 0$ e $a = 0$, que só ocorre para θ . Logo $a + b = 1$ para os demais casos: α, β, ω . Dito isso, temos o mesmo resultado

para as operações $A \cup B$ e $a + b$. A Figura 121 ilustra a operação $a + b$ interpretada como uma *união* $A \cup B$.

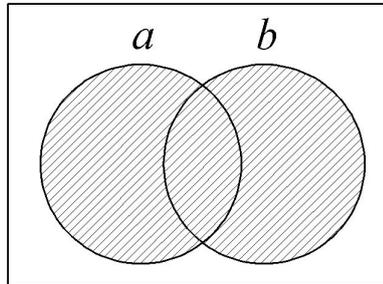


Figura 121 – $a + b$
Fonte: Produzida pelo autor

Diferença entre dois conjuntos

O resultado da operação de $A - B$ possui os elementos que pertencem a A e não pertencem a B . Logo $A - B = \{\alpha\}$. Por outro lado, $a \cdot \bar{b} = 1$ quando $a = 1$ e $b = 0$, o que ocorre apenas para α . Desta forma, temos o mesmo resultado para as operações $A - B$ e $a \cdot \bar{b}$. A Figura 122 ilustra a operação $a \cdot \bar{b}$ interpretada como uma *diferença* $A - B$.

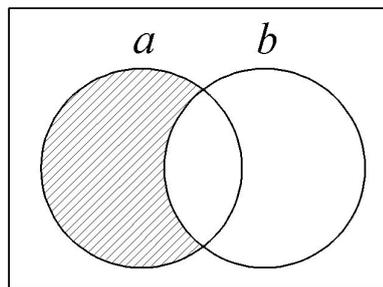
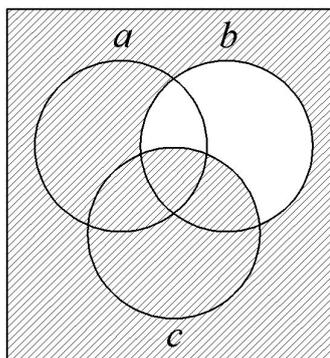
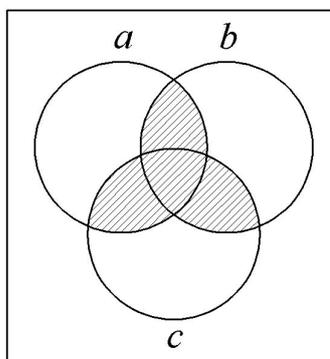


Figura 122 – $a \cdot \bar{b}$
Fonte: Produzida pelo autor

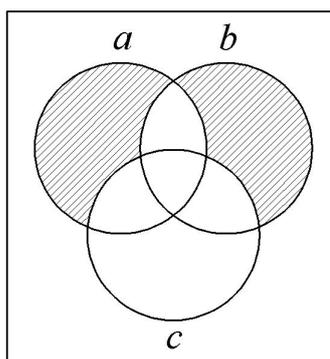
Vejamos mais alguns exemplos de operações compostas por Funções *Booleanas* expressas na forma de operações com conjuntos

Figura 123 – $\bar{b} + c$

Fonte: Produzida pelo autor

Figura 124 – $(a \cdot b) + (a \cdot c) + (b \cdot c)$

Fonte: Produzida pelo autor

Figura 125 – $(a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}) + (b \cdot \bar{a} \cdot \bar{c})$

Fonte: Produzida pelo autor

G.3 Um pouco sobre Lógica de Predicados

Nem toda afirmação pode ser compreendida logicamente pela Lógica Proposicional, vejamos os exemplos abaixo:

Exemplo G.3.1 *O quadrado é um quadrilátero. Todo quadrilátero tem quatro lados. Então o quadrado tem quatro lados.*

Exemplo G.3.2 *Para todo quadrado de área medindo l , existe algum quadrado de área maior do que l .*

Na Lógica Proposicional faltam recursos para representar as palavras *todo* e *algum* contidas nos exemplos acima. Note que nos dois exemplos temos qualidades que são atribuídas à objetos. No primeiro, a qualidade de *ter quatro lados* é atribuída a *todo* objeto que pertence ao conjunto dos *quadriláteros*. No segundo, a qualidade de *ter área maior do que l* é atribuída a *algum* objeto que pertence ao conjunto dos *quadrados*. Estas qualidades são chamadas de *predicados* e as quantidades de objetos dotados destes *predicados*, podem ser para *todo* ou para *algum*, estes são conhecidas como quantificadores. Neste sentido a Lógica de Predicados amplia as possibilidades de representação de situações ao acrescentar os quantificadores aos conectivos da Lógica Proposicional.

Dessa forma, a Lógica de Predicados conta, além dos conectivos a Lógica Proposicional ($\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$), com: *objetos, predicados, variáveis e quantificadores*.

Os **objetos** podem ser concretos, abstratos, fictícios, atômicos ou representarem um conjunto de coisas, sobre o(s) qual(ais) de deseje dizer algo (PEREIRA, 2016).

Os **predicados** são as características que se deseja dizer a respeito dos objetos.

As **variáveis** são utilizadas para generalizar um predicado, onde um objeto pode ou não ser um valor da variável, dependendo se ele possui ou não o predicado representado pela variável. “Variáveis são meros espaços reservados para objetos” (HUT; RYAN, 2004, p. 94) *tradução nossa*¹⁶.

Os **quantificadores** designam a quantidade de *objetos* dotados de um certo *predicado*. Os quantificadores são Universal e Existencial.

Universal: “ \forall ” (**para todo**) indica que todo objeto que é valor da variável é dotado do referido *predicado*.

Existencial: “ \exists ” (**existe**) indica que, entre os objetos que são valores da variável, há algum (pelo menos um) que é dotado do referido *predicado*.

Neste texto utilizaremos a notação trazida por Hut e Ryan (2004), onde o *predicado* é representado por uma letra maiúscula, seguido da *variável* dotada deste *predicado*, que é

¹⁶ Original: Variables are mere place holders for objects.

representada por uma letra minúscula entre parêntesis.

Quanto aos quantificadores é importante notar que a negação de *valer para todo* é *não valer para algum*. E a negação de *valer para algum* é *não valer para nenhum*. Ou seja: $(\neg\forall xA(x) \Leftrightarrow \exists x\neg A(x))$ e $(\neg\exists xA(x) \Leftrightarrow \forall x\neg A(x))$. Interpretando simbologia, temos: $\neg\forall xA(x)$ significa a negação de: para todo x , x é dotado do predicado A . $\exists x\neg A(x)$ significa que existe x , tal que x não é dotado do predicado A . $\neg\exists xA(x)$ significa que não existe x , tal que x seja dotado do predicado A . $\forall x\neg A(x)$ significa que para todo x , x não é dotado do predicado A .

Retomemos os exemplos G.3.1 e G.3.2. Considere:

- $A(x) = x$ é um quadrilátero.
- $B(x) = x$ tem quatro lados.
- $C(x) = x$ é um quadrado de área l .
- $D(x) = x$ é um quadrado de área maior do que l .

O Exemplo G.3.1 pode ser reescrito como:

$$A(\text{quadrado}), \forall x(A(x) \rightarrow B(x)) \Rightarrow B(\text{quadrado}).$$

Já o Exemplo G.3.2 pode ser reescrito como:

$$\forall xC(x)\exists xD(x).$$

G.3.1 Semântica na Lógica de Predicados

A interpretação semântica do valor lógico de uma fórmula na Lógica de Predicados está compreendida no conjunto $\{T, F\}$ e depende dos valores lógicos atribuídos a cada fórmula elementar e dos conectivos lógicos, assim como na Lógica Proposicional. Os quantificadores de negação, conjunção, disjunção, condicional e bi condicional ($\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$) possuem as mesmas características já tratadas em 4.2.1.

O quantificador *Universal* “ \forall ” exerce um papel de conjunção entre os valores lógicos ($\{T, F\}$), dos objetos (a, b, c, \dots) que uma variável (x) representa, para um determinado predicado (A). Considere um predicado A e uma variável $x = \{a, b, c, \dots\}$ (onde $\{a, b, c, \dots\}$ são os possíveis objetos que a variável x representa), temos que $\forall xA(x) \Leftrightarrow A(a) \wedge A(b) \wedge$

$A(c) \wedge \dots$. Ou seja, o valor lógico de uma fórmula $\forall x A(x)$, com $x = \{a, b, c, \dots\}$ só é “ T ” se o valor lógico $\nu(A(a)) = \nu(A(b)) = \nu(A(c)) = \dots = T$.

O quantificador *Existencial* “ \exists ” exerce um papel de disjunção entre os valores lógicos ($\{T, F\}$), dos objetos (a, b, c, \dots) que uma variável (x) representa, para um determinado predicado (A). Considere um predicado A e uma variável $x = \{a, b, c, \dots\}$ (onde $\{a, b, c, \dots\}$ são os possíveis objetos que a variável x representa), temos que $\exists x A(x) \Leftrightarrow A(a) \vee A(b) \vee A(c) \vee \dots$. Ou seja, o valor lógico de uma fórmula $\exists x A(x)$, com $x = \{a, b, c, \dots\}$ é “ T ” se pelo menos um dos valores lógicos $\nu(A(a))$, $\nu(A(b))$, $\nu(A(c))$, ..., for igual a T .

Exemplo G.3.3 (Lógica de Predicados) *Considere uma variável x que representa os objetos pertencentes ao conjunto $\{2, 3, 4, 5\}$ e um predicado $A = \text{ser um número primo}$, onde $A(x)$ indica que x é número primo. Note que $\nu(A(2)) = T$, $\nu(A(3)) = T$, $\nu(A(4)) = F$, $\nu(A(5)) = T$, de onde temos que $\nu(A(2) \wedge A(3) \wedge A(4) \wedge A(5)) = F$ e $\nu(A(2) \vee A(3) \vee A(4) \vee A(5)) = T$. Podemos concluir:*

$$\nu(\forall x A(x)) = F$$

$$\nu(\exists x A(x)) = T$$

De fato não é verdade que para todos os elementos $x = \{2, 3, 4, 5\}$, x é primo, veja que $x = 4$ não é primo. Mas é verdade que para $x = \{2, 3, 4, 5\}$, existe x primo, $x = 2$ por exemplo.

Observando os limites desta proposta, a reflexão sobre Lógica de Predicados será encerrada por aqui, para mais o leitor pode consultar: Hut e Ryan (2004, p. 93 - 157), Souza (2015, p. 204 - 350), Daghljan (1995, p. 89 - 96), Pereira (2016).

APÊNDICE H – Lista de *Links* de materiais audiovisuais e simulações

H.1 Materiais produzidos pelo autor e utilizados na proposta

Link 01 - Painel virtual - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/em9RZnkjKpt-protoboard-painel?sharecode=LSTRFLGJb28QcvQii4-spzmg3ybPxNTXNjq_wBN9ztk>

Link 02 - Como usar a protoboard - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/FvRv6pwCKbw>>

Link 03 - Como usar a protoboard - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/chCANWfslKp-como-usar-a-protoboard?sharecode=dgYSSlwq8kyHf67fiaICp3qVUR5hnnk8_Xdjr4teqU>

Link 04 - Funcionamento do solenoide - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/VSBF5Pzr5pY>>

Link 05 - Lei de Faraday, efeito inverso ao utilizado pelo solenoide - simulação disponível no aplicativo web Phetcolorado:

<https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_all.html>

Link 06 - Funcionamento do relé - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/E0lPFdQNUv8>>

Link 07 - Haste que gira - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/uUP-CQfbY9M>>

Link 08 - Interruptores em paralelo e interruptores em série, portas lógicas “or” e “and” - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/3DzYsVHV24g>>

Link 09 - Interruptores em paralelo e interruptores em série, portas lógicas “or” e “and” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/dTIXIPGsKIP-interruptores-em-serie-e-em-paralelo-conectivos?sharecode=kmnT8z-bQpJ7uGeSLdz6feB5sToCT4c7VNvVzCbsSIk>>

Link 10 - Usando o relé - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/RUVEN2F5iOk>>

Link 11 - Usando o relé - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/lgEAg0GFAZA-usando-o-rele?sharecode=bvRoeJD3V9fsp3X>>

Link 12 - Selo elétrico - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/r8Y6OsZBAFU>>

Link 13 - Desligando um selo elétrico - vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/v3ukyhelncI>>

Link 14 - Selo elétrico - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/2WowM1Kh3SW-selo-eletrico?sharecode=S0pFJiy4WuE8w2tztKV9RmXf7bidPP2BG8_Br-j5lvlg>

Link 15 - Contato normalmente fechado do relé e o conectivo lógico "not- vídeo disponível no YouTube:

<<https://youtu.be/f7nfpSlSjOU>>

Link 16 - Contato normalmente fechado do relé e o conectivo lógico "not- simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/3rPp6cLnYHg-o-conectivo-logico-not-e-o-contato-norm-sharecode=t6Ebq6tf5-sAOtHE2ZFrzQ7IfB8dcaguk9POUcGF1mw>>

Link 17 - Temporizador - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/jBzX9j9Wir7-temporizador?sharecode=bY7tNVKQ_GQI_JtdKkCh6B6VXEQu_qBylE6OstvFpdU>

Link 18 - Portas lógicas “not”, “and”, “or”, “nand”, “nor”, “xor”, com relés - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/7f0xEwsHB3k-portas-logicas-not-and-or-nand-nor-xor-sharecode=BDQrkF850FMa0iarRjTRYDVCD5fgmtBmWnq6I-ouiBs>>

Link 19 - Portas lógicas “not”, “and”, “or”, com relés - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/iqdQfc16Z8m-portas-logicas-not-and-or-com-reles-sharecode=AM28UJiTNdzevbvESGi-6qfbsMTSkW98RA72jJOLNmw>>

Link 20 - Circuito integrado “or” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/kgfY3NmPIY-circuito-integrado-or?sharecode=lBnjA91jVt6uDQ3LgI_q13fD6xPkHZXFka8EChIM2W0>

Link 21 - Circuito integrado “and” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/8iyOdwUACMZ-circuito-integrado-and?sharecode=vb5vMa3tPWMDg_Zrr-bz0dhdjt1P0yBMnspTSMhyZ68>

Link 22 - Circuito integrado “nand” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/g0hUqqWTfSt-circuito-integrado-nand?sharecode=wmoCyY7imYiWa6BoV2bA5r_BVg_0zKfNR3WtdiFTczI>

Link 23 - Circuito integrado “nor” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/1ATNhNkEQoR-circuito-integrado-nor?sharecode=undefined>>

Link 24 - Circuito integrado “xor” - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<https://www.tinkercad.com/things/9nAKGSblJDI-circuito-integrado-xor?sharecode=JvagVKCE7_BqytDnwkeGTwp7RQsxrIaJWJ86HyqgZYZU>

Link 25 - Projeto: motor que gira no sentido horário, anti-horário e desliga - simulação disponível no aplicativo web Tinkercad:

<<https://www.tinkercad.com/things/g0wCTjYgEOk-projeto-motor-horario-anti-horario-e-desliga?sharecode=VNF85byE9kzyikpNrSBVhyky8YsXUvDgLQRk33CKaIY>>

H.2 Vídeos do canal do *YouTube* “*Manual Do Mundo*” recomendados pela proposta

Link A - Motor V8 eletromagnético:

<<https://youtu.be/SwwucPdO6ik>>

Link B - #SagaDosComputadores: A revolução elétrica:

<<https://youtu.be/uQPiyxoCk9E?si=kkzjWMOKIHnMfGza>>

Anexos

ANEXO A – Tabela de código de resistores

4 Band - Code

2 % , 5 % , 10 %

560 kΩ ± 5 %

COR	1ª BANDA	2ª BANDA	3ª BANDA	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
PRETO	0	0	0	1Ω	
MARROM	1	1	1	10Ω	±1% (F)
VERMELHO	2	2	2	100Ω	±2% (G)
LARANJA	3	3	3	1KΩ	
AMARELO	4	4	4	10KΩ	
VERDE	5	5	5	100KΩ	±0,5% (D)
AZUL	6	6	6	1MΩ	±0,25% (C)
VIOLETA	7	7	7	10MΩ	±0,1% (B)
CINZA	8	8	8		±0,05%
BRANCO	9	9	9		
DOURADO				0,1	±5% (J)
PRATEADO				0,01	±10% (K)

5 Band - Code

0.1 % , 0.25 % , 0.5 % , 1 %

237Ω ± 1 %

Tabela 34 – Tabela de código de resistores

Fonte: <https://eletrovieira.blogspot.com/2013_04_01_archive.html> Acesso em: 17 mar. 2024

ANEXO B – Exemplo de programação

g-code

No primeiro exemplo trazido por Tavares e Fonseca (2009) temos o projeto de usinagem *CNC* de uma peça. A Figura 126 traz a descrição da peça e do processo de fabricação. A Figura 127 traz o desenho técnico da peça e a descrição das posições cartesianas em que a ferramenta de corte da máquina *CNC* deve fazer para realizar o corte. Já a Figura 128 mostra um código, na linguagem *g-code*, que programa a máquina para a realização dos movimentos necessários para a usinagem.

1º Exemplo

Trata-se de uma peça paralelepípedica, sobre a qual se pretende realizar o contorno apresentado, numa máquina fresadora.

Vamos considerar que a peça já se apresenta desbastada e somente se pretende fazer o acabamento do contorno. Para facilitar, não será tido em conta o raio da ferramenta.

A ferramenta terá o seu eixo de rotação paralelo ao eixo Z e a altura, livre de qualquer contacto com a peça $Z_{mov}=10$, o ponto para aproximação ao contorno (-9,-15). A velocidade de avanço é de 600 mm/min, a velocidade de corte 1800 rpm e a trajectória sobre o contorno, inicia-se no zero peça e desenvolve-se no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

2009@JST/JOF CFAC: Exemplos de Programas de CNC 2

Figura 126 – Descrição da peça e do processo de fabricação
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.2)

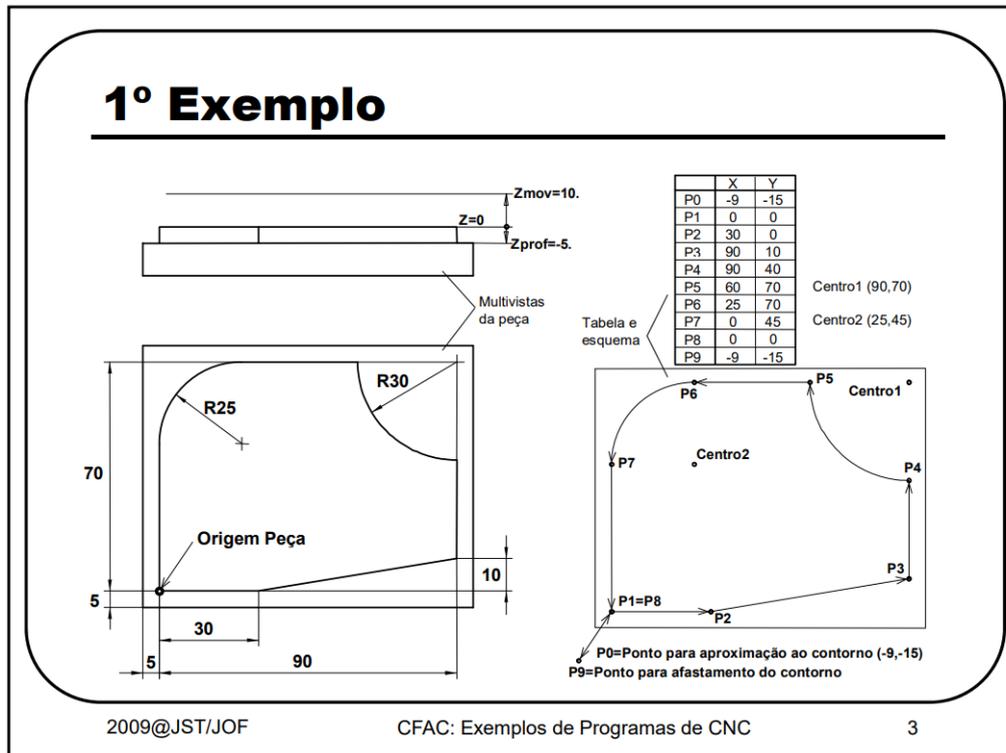


Figura 127 – Projeto da peça
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.3)

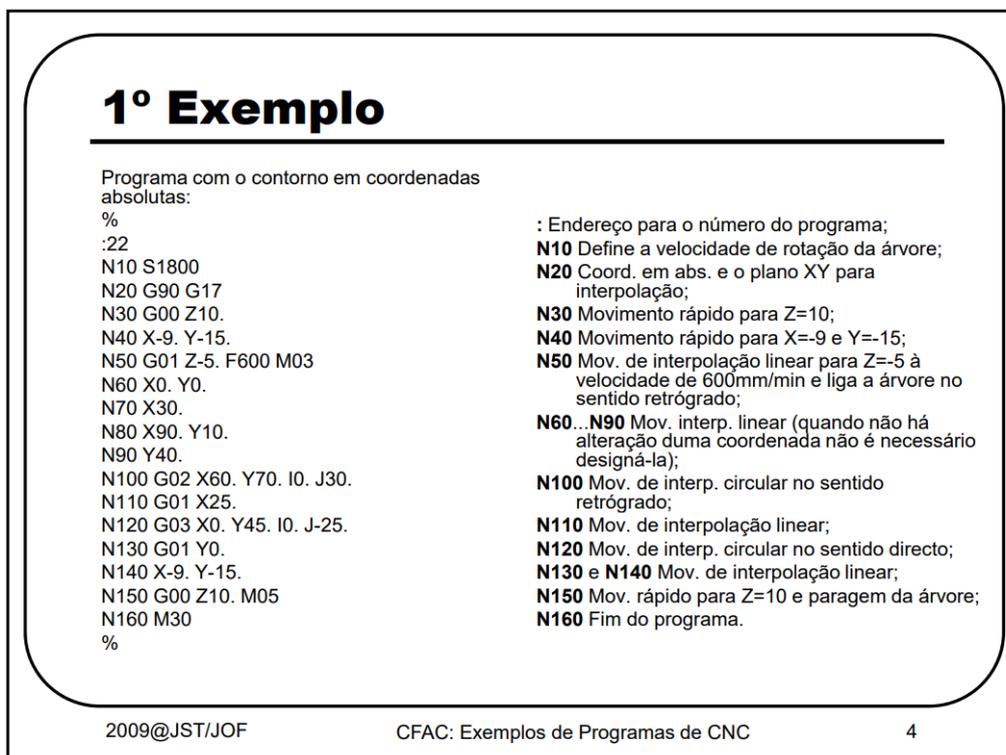


Figura 128 – Código gerado para programação da máquina CNC
Fonte: (TAVARES; FONSECA, 2009, p.4)

ANEXO C – Simbologia gráfica de alguns componentes de acionamento elétrico

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Botoeira NA		Botoeira NF
	Botoeira NA com retorno por mola		Botoeira NF com retorno por mola
	Contatos tripolares NA, ex: contator de potência		Fusível
	Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator		Contato normalmente aberto (NA)
	Relé térmico		Contato normalmente fechado (NF)
	Disjuntor com elementos térmicos e magnéticos, proteção contra correntes de curto e sobrecarga		Acionamento temporizado na ligação
	Disjuntor com elemento magnético, proteção contra corrente de curto-circuito		Lâmpada / Sinalização
	Transformador trifásico		Motor Trifásico

Figura 129 – Simbologia de componentes de acionamento elétrico
Fonte: (HENRIQUE, 2009)

ANEXO D – Equivalências Lógicas

A seguir temos algumas equivalências lógicas trazidas por Gomes e Silva (2008, p. 16 - 17). De acordo com os autores, todas podem ser provadas com o uso das tabelas verdade, além disso são fundamentais para o uso do método dedutivo. t representa uma proposição *tautológica* (*tautologia*, proposição cujo valor lógico é sempre verdadeiro) e c representa uma *contradição* (proposição cujo valor lógico é sempre falso).

- (1) $\neg p(\neg p) \Leftrightarrow p$ (dupla negação);
- (2) $p \wedge p \Leftrightarrow p$ (propriedade independente da conjunção);
- (3) $p \wedge q \Leftrightarrow q \wedge p$ (propriedade comutativa da conjunção);
- (4) $(p \wedge q) \wedge r \Leftrightarrow p \wedge (q \wedge r)$ (propriedade associativa da conjunção);
- (5) $p \wedge t \Leftrightarrow p$;
- (6) $p \wedge c \Leftrightarrow c$;
- (7) $p \vee p \Leftrightarrow p$ (propriedade independente da disjunção);
- (8) $p \vee q \Leftrightarrow q \vee p$ (propriedade comutativa da disjunção);
- (9) $(p \vee q) \vee r \Leftrightarrow p \vee (q \vee r)$ (propriedade associativa da disjunção);
- (10) $p \vee t \Leftrightarrow t$;
- (11) $p \vee c \Leftrightarrow p$;
- (12) $p \wedge (q \vee r) \Leftrightarrow (p \wedge q) \vee (p \wedge r)$ (distributiva da conjunção sobre a disjunção);
- (13) $p \vee (q \wedge r) \Leftrightarrow (p \vee q) \wedge (p \vee r)$ (distributiva da disjunção sobre a conjunção);
- (14) $p \wedge (p \vee q) \Leftrightarrow p$;
- (15) $p \vee (p \wedge q) \Leftrightarrow p$;
- (16) $\neg(p \wedge q) \Leftrightarrow \neg p \vee \neg q$ (lei de De Morgan);
- (17) $\neg(p \vee q) \Leftrightarrow \neg p \wedge \neg q$ (lei de De Morgan);
- (18) $p \rightarrow q \Leftrightarrow \neg p \vee q$;
- (19) $p \rightarrow q \Leftrightarrow \neg q \rightarrow \neg p$;
- (20) $p \leftrightarrow q \Leftrightarrow (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$.

ANEXO E – Portas Lógicas

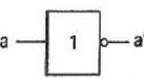
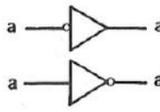
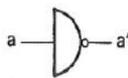
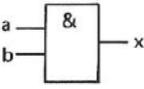
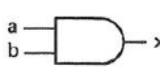
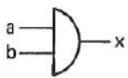
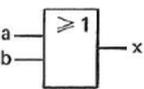
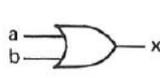
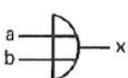
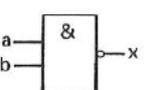
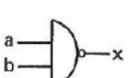
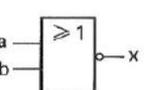
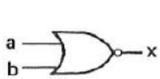
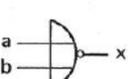
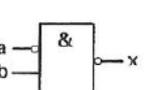
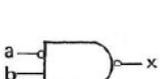
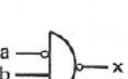
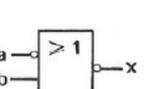
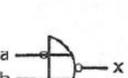
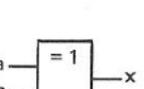
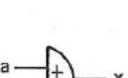
CIRCUITO	TABELA-VERDADE	CEI	MIL	DIN	FUNÇÃO BOOLEANA															
INVERSOR (NEGAÇÃO)	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	x	0	1	1	0				$x = a'$									
a	x																			
0	1																			
1	0																			
E (AND)	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1				$x = a \cdot b$
a	b	x																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
OU (OR)	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1				$x = a + b$
a	b	x																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
NE (NAND)	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0				$x = (a \cdot b)'$
a	b	x																		
0	0	1																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
NOU (NOR)	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0				$x = (a + b)'$
a	b	x																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	0																		
NE c/uma saída invertida	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1				$x = (a'b)'$
a	b	x																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	1																		
1	1	1																		
NOU c/uma saída invertida	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0				$x = (a' + b)'$
a	b	x																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	1																		
1	1	0																		
OU Exclusivo	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>x</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	x	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0				$x = ab' + a'b$ $x = a \oplus b$
a	b	x																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		

Tabela 35 – Portas Lógicas
 Fonte: (DAGHLIAN, 1995, p.155)

ANEXO F – Imagens de tela dos orçamentos

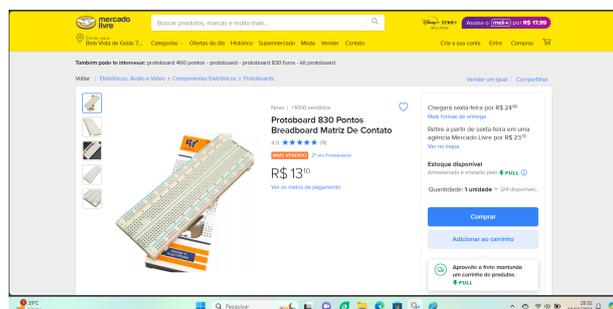


Figura 130 – *Protoboard 830 pontos - orçamento 01*

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

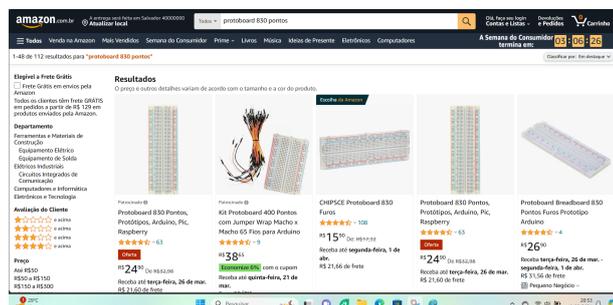


Figura 131 – *Protoboard 830 pontos - orçamento 02*

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

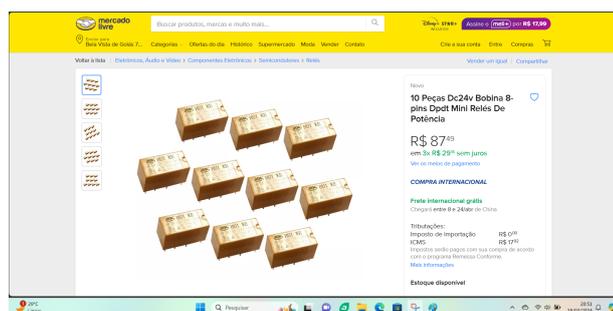


Figura 132 – *Relé DPDT - orçamento 01*

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

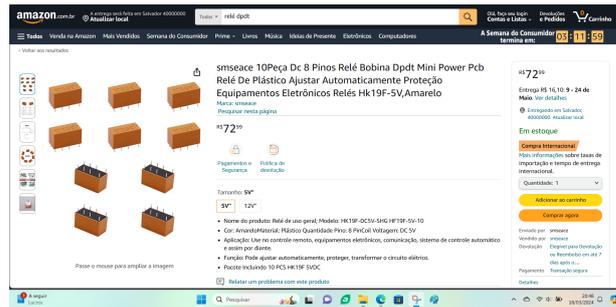


Figura 133 – Relé *DPDT* - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

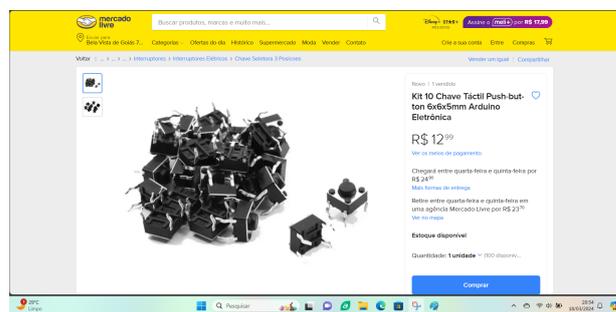


Figura 134 – Botão 4 pinos - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

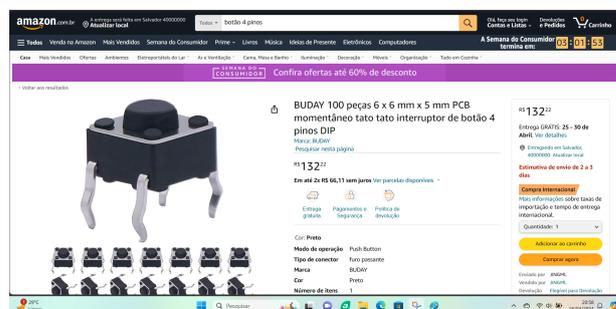


Figura 135 – Botão 4 pinos - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

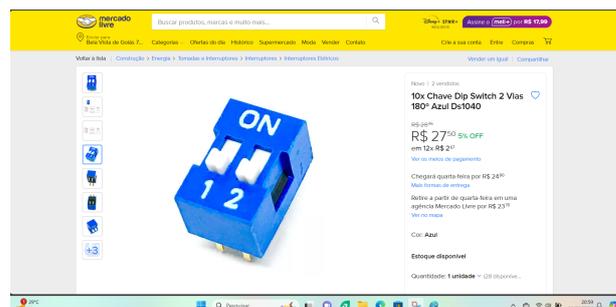


Figura 136 – Interruptor de 2 contatos - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

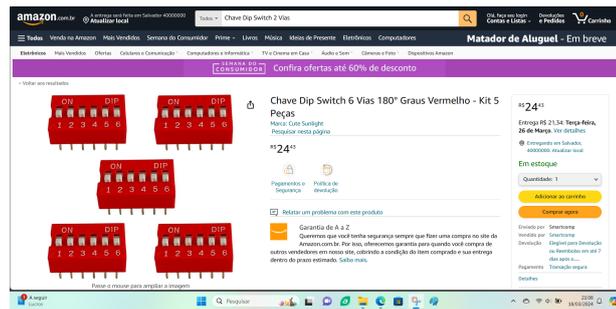


Figura 137 – Interruptor de 2 contatos - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

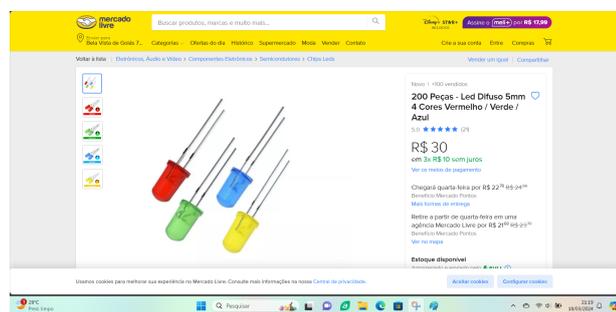


Figura 138 – LED - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

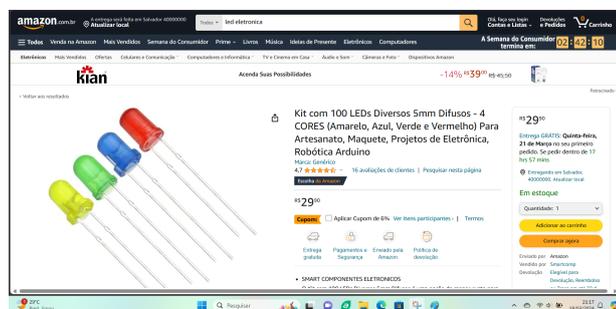


Figura 139 – LED - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

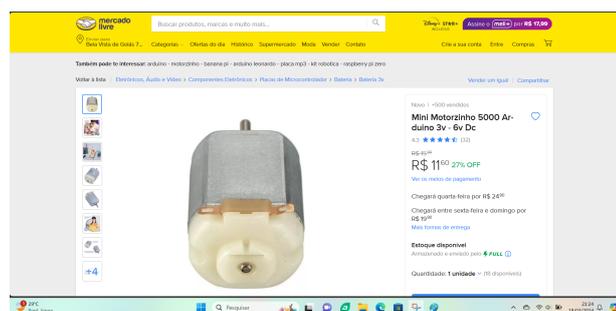


Figura 140 – Motor - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

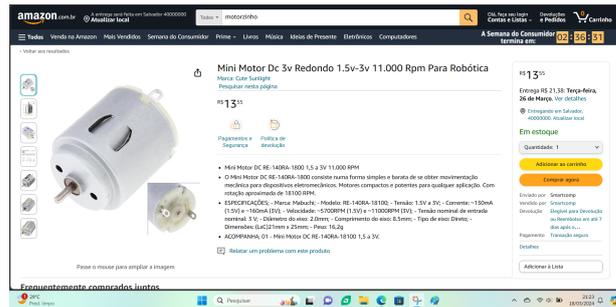


Figura 141 – Motor - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

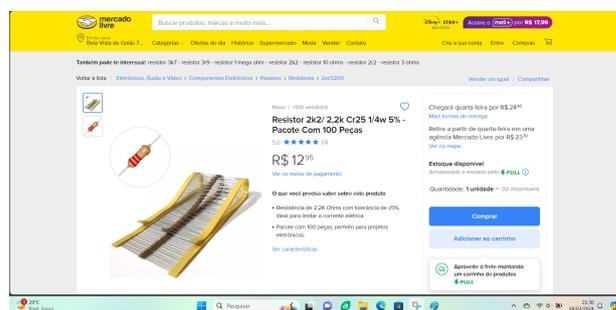


Figura 142 – Resistor - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024



Figura 143 – Resistor - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

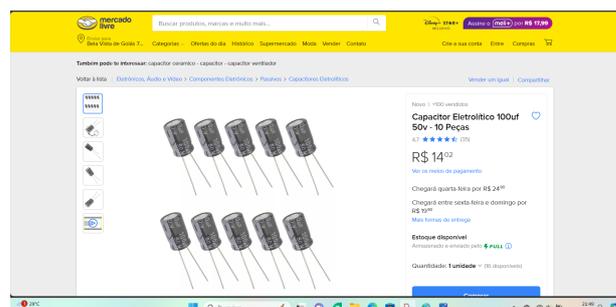


Figura 144 – Capacitor - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

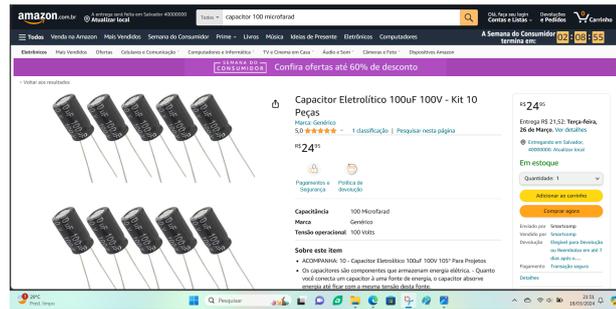


Figura 145 – Capacitor - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

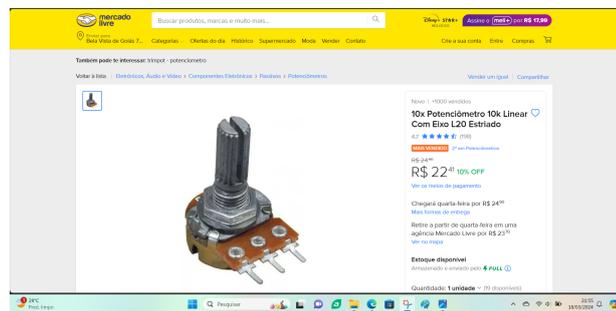


Figura 146 – Potenciômetro - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

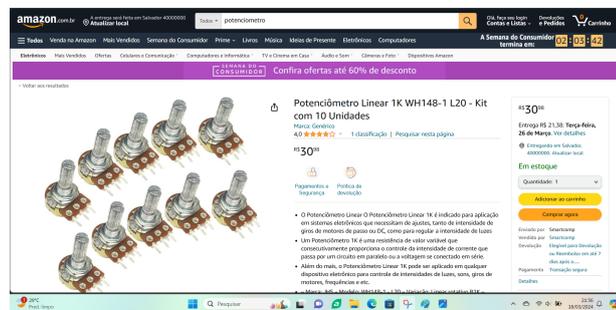


Figura 147 – Potenciômetro - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

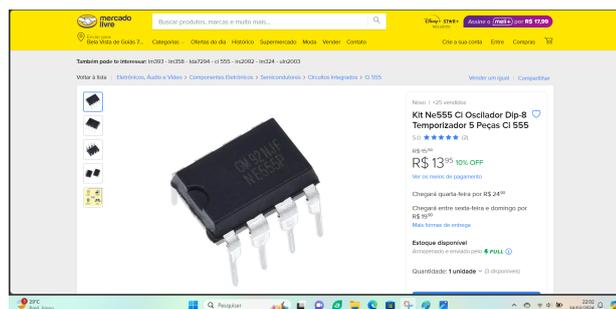


Figura 148 – Circuito Integrado 555 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

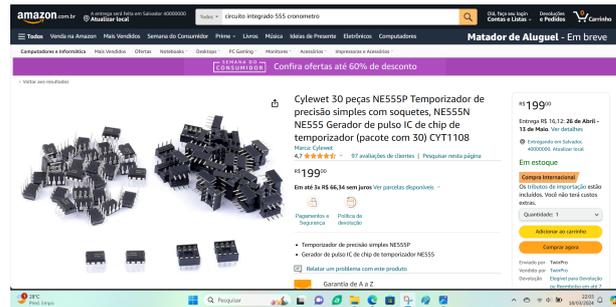


Figura 149 – Circuito Integrado 555 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

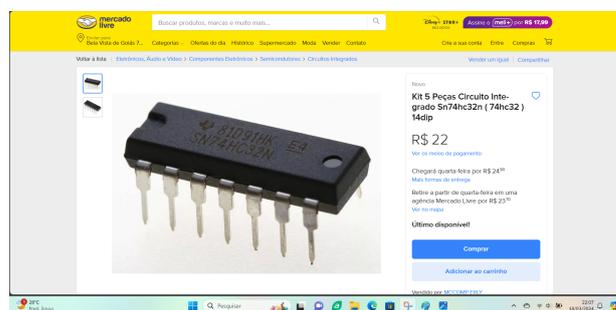


Figura 150 – Circuito Integrado 74HC32 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024



Figura 151 – Circuito Integrado 74HC32 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

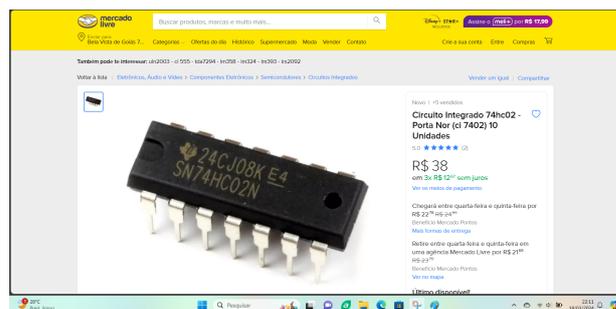


Figura 152 – Circuito Integrado 74HC02 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

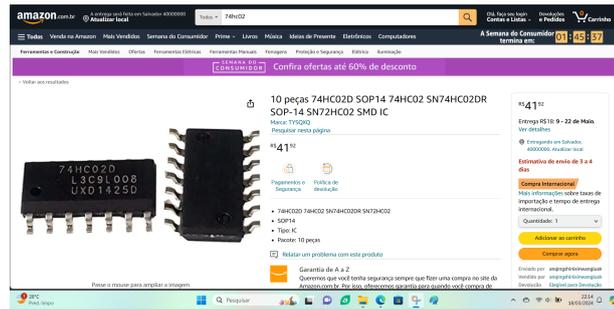


Figura 153 – Circuito Integrado 74HC02 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

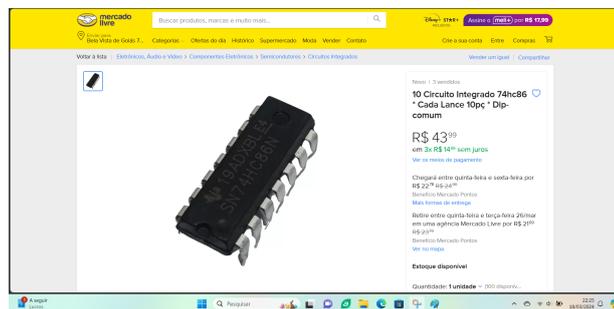


Figura 154 – Circuito Integrado 74HC86 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

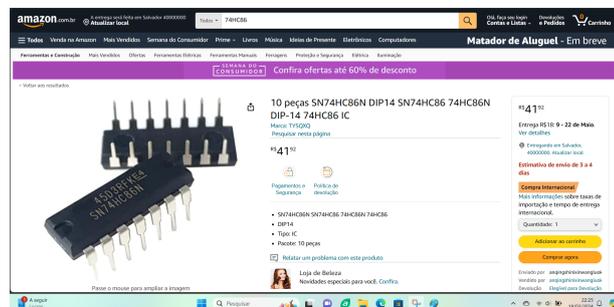


Figura 155 – Circuito Integrado 74HC86 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

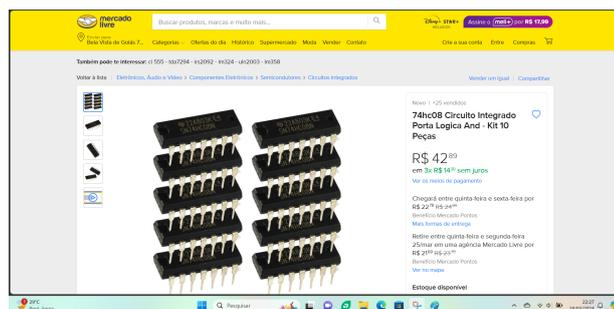


Figura 156 – Circuito Integrado 74HC08 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024



Figura 157 – Circuito Integrado 74HC08 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

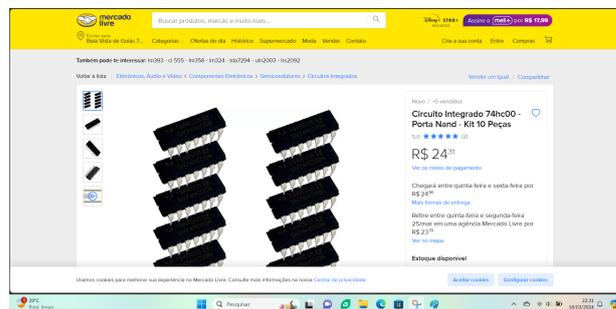


Figura 158 – Circuito Integrado 74HC00 - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

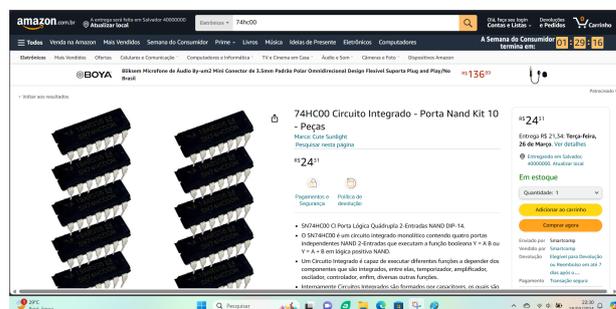


Figura 159 – Circuito Integrado 74HC00 - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024



Figura 160 – Cabo macho - orçamento 01

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Acesso em: 18 mar. 2024

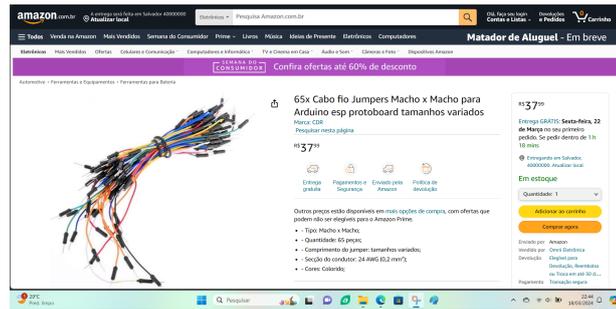


Figura 161 – Cabo macho - orçamento 02

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

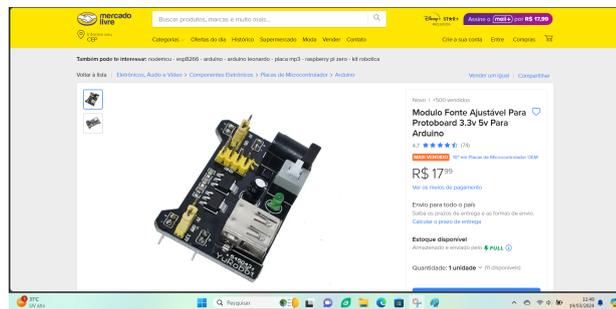


Figura 162 – Fonte para *protoboard*

Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024

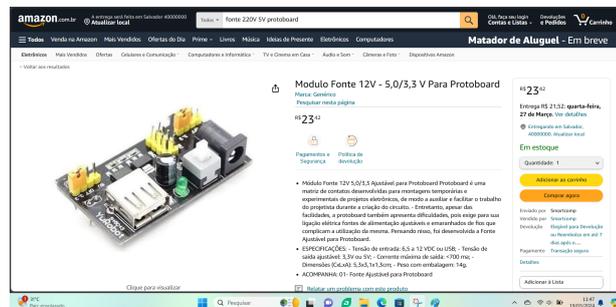


Figura 163 – Fonte para *protoboard*

Fonte: <<https://www.amazon.com.br/>> Aceso em: 18 mar. 2024