

Aprenda ELETRÔNICA DIGITAL de
forma moderna, didática e prática
usando LÓGICA RECONFIGURÁVEL

SISTEMAS Digitais RECONFIGURÁVEIS

FPGA E VHDL

◆ EDUARDO CRUZ

◆ ENZO GAUDINO

◆ DOMINGOS ADRIANO

◆ SALOMÃO JÚNIOR



ALTA BOOKS
EDITORA
Rio de Janeiro, 2022

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	xix
PREFÁCIO	xxi
1. INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA DIGITAL	23
1.1 REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A REVOLUÇÃO 4.0	25
1.2 AS TECNOLOGIAS E A SOCIEDADE	28
1.3 A ELETRÔNICA DIGITAL.....	31
1.3.1 A integração e a miniaturização da eletrônica	32
1.3.2 Um pouco sobre as famílias TTL e CMOS.....	32
1.3.3 ASIC — Application Specific Integrated Circuit (Circuito Integrado de Aplicação Específica)	34
1.3.4 PLD — Programmable Logic Device (Dispositivo Lógico Programável).....	34
1.3.5 Tecnologia CPLD	35
1.3.6 Tecnologia FPGA.....	36
1.3.7 Microcontrolador	37
1.3.7.1 A Plataforma Arduino	38
1.3.8 Sistema em um chip — SOC.....	39
1.3.9 Qual tecnologia escolher: ASIC, Microcontrolador ou PLD? ...	40
1.4 EXERCÍCIOS PROPOSTOS	40
1.5 PESQUISA PROPOSTA	41
2. SINAIS ANALÓGICO E DIGITAL, E CONVERSORES AD E DA.....	43
2.1 SISTEMAS E GRANDEZAS ANALÓGICA E DIGITAL.....	45
2.1.1 O bit e os níveis lógicos	46
2.1.2 Variáveis lógicas	48
2.2 AQUISIÇÃO DE SINAIS	49
2.2.1 Etapas do sistema de aquisição de sinais.....	49
2.2.2 Sensores.....	50
2.2.3 Digitalização de sinais	52
2.2.4 Vantagens e desvantagens dos sistemas digitais	54

2.3 SISTEMAS NUMÉRICOS: BASES 2, 10 e 16	55
2.3.1 Sistema binário	55
2.3.2 Sistema hexadecimal.....	57
2.4 CONVERSÃO ENTRE SISTEMAS NUMÉRICOS	58
2.4.1 Tabela de conversão.....	58
2.4.2 Conversão de número binário para decimal	59
2.4.3 Conversão de número hexadecimal para decimal	59
2.4.4 Conversão da base 10 para uma base qualquer, pelo método das divisões sucessivas	60
2.4.4.1 Conversão da base decimal para a base binária	61
2.4.4.2 Conversão da base decimal para hexadecimal	62
2.4.5 Conversão direta entre as bases binária e hexadecimal	63
2.4.5.1 Conversão da base binária para a base hexadecimal..	63
2.4.5.2 Conversão da base hexadecimal para a base binária	64
2.5 OPERAÇÕES DE ADIÇÃO E SUBTRAÇÃO.....	64
2.5.1 Adição no sistema decimal.....	65
2.5.2 Adição no sistema hexadecimal	65
2.5.3 Adição no sistema binário.....	66
2.5.4 Subtração no sistema decimal	67
2.5.5 Subtração no sistema hexadecimal.....	68
2.5.6 Subtração no sistema binário.....	68
2.6 CONVERSORES AD E DA.....	69
2.6.1 Características	70
2.6.2 Conversor DA	71
2.6.3 Conversor AD	73
2.6.3.1 Amostragem	74
2.6.3.2 Quantização e Codificação.....	76
2.7 EXERCÍCIOS PROPOSTOS	78
2.8 PESQUISA PROPOSTA	79
3. A LINGUAGEM VHDL.....	81
3.1 INTRODUÇÃO	83
3.2 LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO DE HARDWARE	84
3.3 DESCRIÇÃO RTL E SÍNTESE.....	86
3.4 FLUXO DE PROJETO	86

3.5	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LINGUAGEM VHDL	88
3.6	ESTRUTURA BÁSICA DO CÓDIGO.....	89
3.6.1	Bibliotecas e Pacotes.....	91
3.6.2	Entidade	93
3.6.3	Arquitetura.....	94
3.7	IDENTIFICADORES	95
3.8	CLASSES DE OBJETOS.....	96
3.9	TIPOS DE DADO	98
3.9.1	Dados Escalares.....	98
3.9.2	Dados Compostos	99
3.9.3	Criação de novos tipos de dado	101
3.9.3.1	Subtipos	101
3.9.4	Tipos STD_LOGIC e STD_LOGIC_VECTOR	102
3.10	OPERADORES	103
3.10.1	Operadores Lógicos.....	103
3.10.2	Operadores aritméticos	104
3.10.3	Operadores Relacionais	105
3.10.4	Operador de Concatenação	105
3.11	EXERCÍCIOS PROPOSTOS	106
3.12	PESQUISA PROPOSTA	107
4.	FUNÇÕES E PORTAS LÓGICAS	109
4.1	FUNÇÕES E PORTAS LÓGICAS BÁSICAS.....	111
4.1.1	Função e porta NOT	111
4.1.1.1	Função <i>NOT</i>	111
4.1.1.2	Porta <i>NOT</i>	113
4.1.2	Função e porta AND.....	113
4.1.2.1	Função <i>AND</i>	113
4.1.2.2	Porta <i>AND</i>	114
4.1.3	Função e porta OR	115
4.1.3.1	Função <i>OR</i>	115
4.1.3.2	Porta <i>OR</i>	116
4.2	FUNÇÕES E PORTAS LÓGICAS DERIVADAS.....	117
4.2.1	Funções e portas NAND e NOR	117
4.2.1.1	Função e porta <i>NAND</i>	117
4.2.1.2	Função e porta <i>NOR</i>	118

4.2.2	Funções e portas <i>XOR</i> e <i>XNOR</i>	119
4.2.2.1	Função e porta <i>XOR</i>	119
4.2.2.2	Função e porta <i>XNOR</i>	121
4.3	CIRCUITOS INTEGRADOS COM PORTAS LÓGICAS	122
4.4	EXERCÍCIOS PROPOSTOS	124
5.	SISTEMAS COMBINACIONAIS.....	127
5.1	CIRCUITO COMBINACIONAL	129
5.2	IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA E SAÍDA	130
5.3	TABELA-VERDADE BASEADA EM ANÁLISE DE PROCESSOS	133
5.3.1	Condições irrelevantes.....	134
5.3.2	Tabela-verdade do processo	134
5.4	IMPLEMENTAÇÃO POR PORTAS LÓGICAS.....	136
5.4.1	Obtenção da expressão lógica sem considerar as condições irrelevantes	136
5.4.2	Obtenção da expressão lógica considerando as condições irrelevantes	137
5.4.3	Álgebra booleana	139
5.4.3.1	Postulados da álgebra booleana	139
5.4.3.2	Propriedades da álgebra booleana	139
5.4.3.3	Teoremas da álgebra booleana.....	140
5.4.4	Método de simplificação algébrica	141
5.4.5	Implementação de circuitos lógico e elétrico com circuitos integrados discretos.....	148
5.5	IMPLEMENTAÇÃO POR DISPOSITIVO DE HARDWARE RECONFIGURÁVEL	152
5.5.1	Implementação de circuito lógico em FPGA por diagrama em blocos	152
5.5.2	Implementação de circuito lógico em FPGA usando expressões lógicas ou concorrentes.....	153
5.5.3	Atribuição condicionada: Construção WHEN-ELSE	159
5.5.4	Atribuição selecionada: Construção WITH-SELECT	160
5.5.5	Implementação de circuito lógico em FPGA usando atribuição selecionada	161
5.6	PROJETOS PROPOSTOS.....	163

7.2.2 Latch RS.....	237
7.2.3 Sinal de clock.....	241
7.2.4 LATCH RS síncrono.....	242
7.2.5 Flip-flop JK.....	244
7.2.6 Flip-flop JK com preset e clear	246
7.2.7 Descrição de circuitos com detecção de borda (transições de sinal)	247
7.2.8 Flip-flop D.....	250
7.2.9 Flip-flop T	252
7.2.10 Descrições de circuitos sensíveis a nível ou borda.....	253
7.3 Divisor de frequências.....	254
7.4 Contador	258
7.4.1 Conceito	258
7.4.2 Contador binário assíncrono crescente	260
7.4.3 Contador de década assíncrono crescente	261
7.4.4 Contador binário assíncrono decrescente	262
7.4.5 Contadores síncronos.....	263
7.5 Registrador	267
7.5.1 Conceito	267
7.5.2 Registrador de deslocamento: entrada serial e saída serial..	268
7.5.3 Registrador de deslocamento (shift register) genérico	273
7.6 Máquina de estados.....	276
7.7 EXERCÍCIO PROPOSTO	287
7.8 PESQUISA PROPOSTA	288
ANEXO 1 – TIPOS DE MEMÓRIA.....	289
A1.1 DEFINIÇÃO	289
A1.2 CONFIGURAÇÃO E CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	289
A1.3 RAM	293
A1.3.1 RAM estática.....	293
A1.3.2 RAM dinâmica	293
A1.4 ROM	294
A1.4.1 ROM máscara	294
A1.4.2 PROM	294
A1.4.3 EPROM	295

A1.4.4 EEPROM	295
A1.4.5 Flash ROM.....	296
ANEXO 2 – TIPOS DE DISPOSITIVO LÓGICO PROGRAMÁVEL	297
A2.1 INTRODUÇÃO	297
A2.2 TIPOS DE SPLD	298
A2.2.1 PROM como PLD	298
A2.2.2 PAL	302
A2.2.3 PLA.....	306
A2.2.4 GAL	308
A2.3 TIPOS DE HCPLD.....	308
A2.3.1 CPLD.....	308
A2.3.2 FPGA	310
REFERÊNCIAS.....	313
ÍNDICE	315

AMOSTRA

1

INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA DIGITAL

CAPÍTULO 1

Neste capítulo, você aprenderá:

- A história da tecnologia e das revoluções industriais.
 - A evolução da eletrônica digital.
 - O que são ASICs.
 - O que são PLDs.
 - O que são microcontroladores.
 - Quando utilizar cada uma das tecnologias citadas.
-

AMOSTRA

1.1 REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A REVOLUÇÃO 4.0

As grandes revoluções industriais trouxeram ao mundo incontáveis avanços científicos e tecnológicos, e profundas mudanças na sociedade.

A Primeira Revolução, iniciada na segunda metade do século XVIII, ficou marcada pela utilização de máquinas a vapor em processos produtivos (principalmente, na produção têxtil) e nos meios de transporte (Figura 1.1). Já a Segunda Revolução, que ocorreu na segunda metade do século XIX, caracterizou-se pelo emprego da energia elétrica e dos combustíveis derivados do petróleo (Figura 1.2).

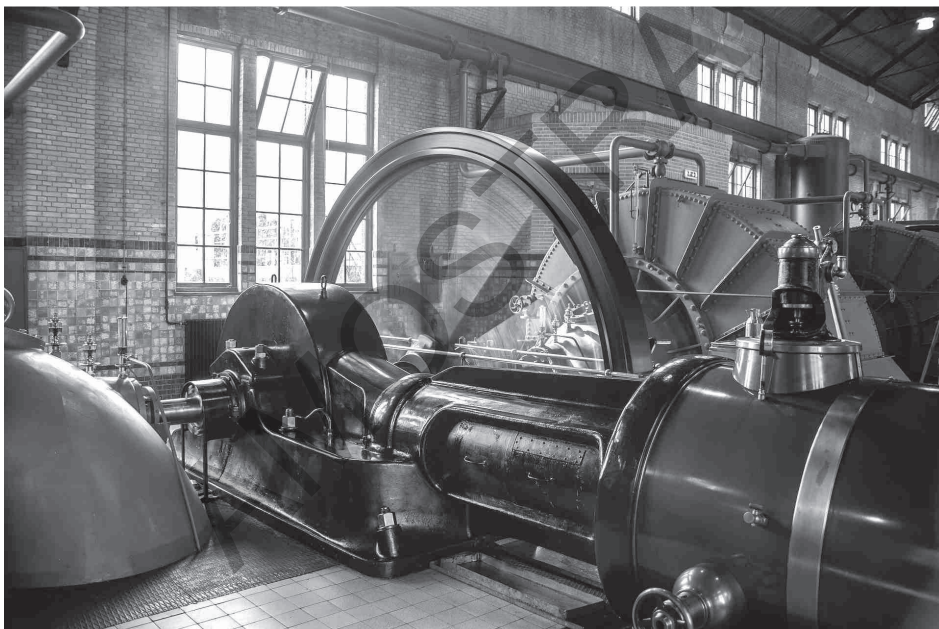


Figura 1.1 – Máquina a vapor (Primeira Revolução Industrial).

Fonte: Pixabay

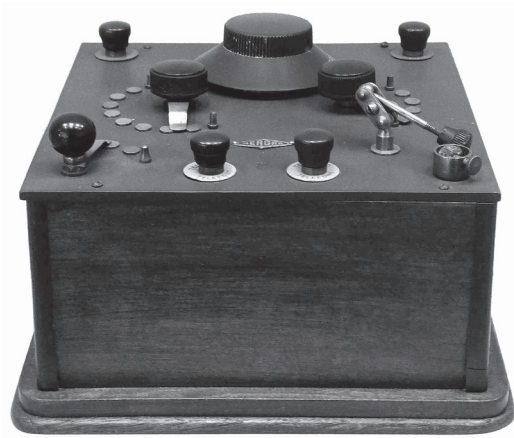


Figura 1.2 – Rádio Galena (Segunda Revolução Industrial).

Fonte: Pixabay

Mas foi após as duas Grandes Guerras que o mundo começou, de fato, a conhecer a eletrônica, uma das áreas protagonistas da Terceira Revolução Industrial, iniciada em meados do século XX. O desenvolvimento industrial durante o período transformou as indústrias no que conhecemos hoje, com as pesquisas científicas e tecnológicas andando de mãos dadas com a busca por processos produtivos cada vez mais eficientes e automatizados. Áreas como informática, eletrônica, robótica e telecomunicações foram fundamentais durante todo esse processo (Figura 1.3).

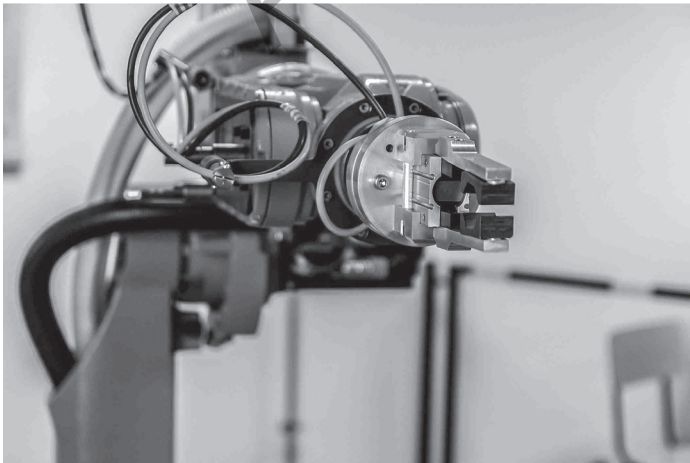


Figura 1.3 – Robô industrial (Terceira Revolução Industrial).

Fonte: Pixabay

Ainda nesse contexto, é praticamente impossível mencionar a evolução dos sistemas de informação sem nos lembrarmos do papel da internet, da presença de computadores com processadores cada vez mais poderosos e do aumento exponencial do fluxo de dados consumidos pelo mundo. Dá-se, então, início ao que chamamos de “Era da Informação”, ou “Era Digital”. Aqui, antigos paradigmas foram quebrados, e o mundo passou a exigir muito mais dinamismo e velocidade nas tomadas de decisão; dessa maneira, as indústrias não puderam fugir à regra para conseguir sobreviver em um mundo cada vez mais competitivo.

Atualmente, vivemos a Quarta Revolução Industrial, chamada de Revolução 4.0, ou Indústria 4.0, cujas propostas são pautadas em ambientes inteligentes, com grande interconectividade e processamento de informações em tempo real. As áreas em destaque aqui são:

- **Inteligência artificial:** Desenvolve mecanismos que permitem aos dispositivos serem capazes de analisar e solucionar problemas, simulando a capacidade do ser humano de pensar, tornando-os de certa forma “inteligentes” (Figura 1.4A). Dentro desse ramo, há o que chamamos de **aprendizagem de máquina (machine learning)**, que é um método que analisa dados e informações passadas para tomar decisões futuras, ou seja, faz com que os dispositivos sejam capazes de aprender sozinhos; este é o fundamento dos carros autônomos.
- **Big Data:** Termo em inglês, utilizado para se referir ao grande volume de informação processada atualmente (Figura 1.4B). Estuda-se, aqui, como gerenciar e lidar com tamanha quantidade de dados.
- **Cibersegurança (CiberSecurity):** Abrange tudo o que está ligado à segurança virtual (Figura 1.4C). Engloba transmissão e recepção de informações, evitando que sejam perdidas e/ou roubadas por qualquer que seja o tipo de ação maliciosa.
- **Internet das Coisas (IoT — Internet of Things):** Conceito de dispositivos interconectados trocando informações pela rede (Figura 1.4D).

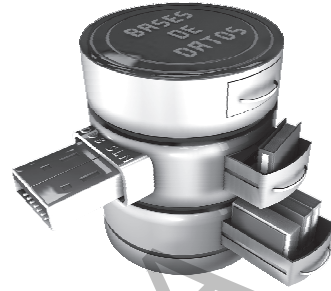
Assim como as três primeiras revoluções, a Quarta não é um evento repentino que se iniciou ou que acabará de uma hora para outra. Todas essas melhorias e descobertas fazem parte de um processo contínuo que perdura e resulta de anos de pesquisa e trabalho. Portanto, não é difícil imaginar e esperar que a busca cons-

tante por maior eficiência e perfeição nos levará a novos patamares tecnológicos, assim como outrora ocorreu, fazendo-nos perguntar: Qual será a Quinta Revolução e quando ela ocorrerá?



A Inteligência Artificial.

Fonte: Pixabay



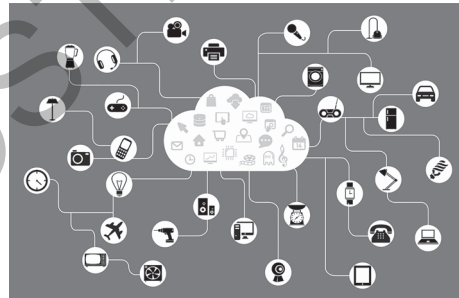
B Big Data.

Fonte: Pixabay



C Cibersegurança.

Fonte: Pixabay



D Internet das Coisas – IoT.

Fonte: Pixabay

Figura 1.4 – Quarta Revolução Industrial.

1.2 AS TECNOLOGIAS E A SOCIEDADE

As tecnologias criadas ao longo dos anos também impactam diretamente o nosso cotidiano, afetando a forma como realizamos nossas atividades diárias, nossas expectativas e, até mesmo, nossos relacionamentos interpessoais. Por vezes, têm-se verdadeiras quebras de paradigmas e novas realidades, que jamais seriam pensadas anos atrás.

Atualmente, passamos grande parte de nosso tempo olhando para telas de smartphones e computadores, seja trabalhando, seja vendo algo de interesse pessoal, conversando com amigos por meio de aplicativos ou em jogos virtuais. Um celular apenas para fazer ligações é algo ultrapassado e que já não atende às necessidades do consumidor. Os smartphones são verdadeiros computadores de bolso, com os mais variados recursos integrados em um equipamento de pequeno porte e mais poderosos do que antigos computadores de mesa.

As pessoas não esperam mais pelo seu programa de televisão favorito e, sim, assistem a ele quando bem entendem e nem sequer precisam mais da televisão para isso. Aliás, há quem nem mais a tenha em casa. É incrível pensar que ela já foi um dos eletrodomésticos mais requisitados em uma residência e, mais ainda, lembrar a clássica época do rádio, na qual ele era o principal difusor de informação.

Se, antes, as crianças empinavam pipas, hoje, elas controlam drones; leitores da digital humana estão substituindo nossos documentos de identificação; armazenamento de fotos e demais documentos são feitos na “nuvem” (servidores) e não mais em estantes. Essas são algumas entre muitas outras novas situações trazidas com o avanço tecnológico.

A própria internet representou um processo de globalização e integração social, “encurtou” distâncias, facilitando as comunicações, e fomentou a difusão de informação. Considerando o fácil acesso a uma quantidade inimaginável de conteúdo, alguns segundos ou minutos de pesquisa podem ser um divisor de águas entre uma pessoa que conhece ou não determinado assunto. Será que longos cursos, como graduações de 4 ou 5 anos, satisfarão às necessidades atuais e às rápidas mudanças que estamos vivenciando? Ou o novo profissional já sairá desatualizado da faculdade?

Inteligência artificial e realidade virtual são algumas das tecnologias que estão sendo aplicadas à educação: o perfil dos alunos mudou e continuará mudando, bibliotecas já não são frequentadas como antes, e a quantidade de informação ao alcance de todos nos faz repensar a real necessidade de um professor falando por horas sobre um assunto que facilmente poderia ser lido. Renovações à vista no sistema de ensino!

Novas disciplinas, como lógica de programação, não deveriam ser acrescentadas na grade curricular do ensino fundamental? Noções sobre como navegar na internet com segurança não seriam úteis às nossas crianças?

Este mundo cada vez mais digital e interconectado, pegando carona no conceito trazido com a Internet das Coisas, promete ainda mais alterações e novas tendências. A quinta geração (5G) de telefonia celular vem para suprir a demanda por um fluxo de dados cada vez maior, com novas infraestruturas de telecomunicações e preocupações com a cibersegurança.

Cidades inteligentes (*Smart Cities*) mudarão o conceito de gestão pública dos centros urbanos e rurais, e a automação nas residências (Domótica) ficará cada vez mais presente e acessível (Figura 1.5).



Figura 1.5 – A cidade inteligente em nossas mãos.

Fonte: Pixabay

A área da saúde promete equipamentos melhores, novos tratamentos e operações cada vez menos invasivas, exigindo um menor tempo de recuperação. Imaginem a qualidade e o quão confiáveis deverão ser as redes de comunicação para permitir as desejadas intervenções cirúrgicas realizadas a distância.

Há também novas profissões substituindo outras e novos nichos de mercado surgindo. As empresas tradicionais, que antes figuravam como as de maior valor de mercado, estão perdendo posições e, hoje, as mais valiosas são as empresas de software, mudando totalmente o panorama anterior.

Cada vez mais, precisaremos de profissionais empreendedores, com capacidade de aprender rápido, autodidatas e com poder de adaptação. A tecnologia afeta todas as áreas, e muitas coisas poderiam ser citadas e discutidas (prós e contras) sobre todas as mudanças e os impactos no cotidiano, mas o fato é que elas continuarão a ocorrer, pois a busca por mais conforto e facilidades é inerente à evolução humana. Já vimos que esta não é a primeira revolução e nem será a últi-

ma. Se partirmos do princípio de que esses processos são contínuos e inevitáveis, o que nos resta é estarmos preparados para enfrentá-los.

Conjuntamente com os grandes desafios, surgirão muitas oportunidades.

Profissionalmente falando, precisamos aceitar e nos preparar para as mudanças, sermos “disruptivos” e nos reinventarmos para não ficarmos de fora. Do lado pessoal, jamais nos esquecermos de nossas responsabilidades social, ambiental, familiar etc., de constantemente refletirmos sobre o certo e o errado, termos ética e caráter. Podemos criar robôs, mas não podemos permitir que a sociedade nos transforme em um.

1.3 A ELETRÔNICA DIGITAL

Principalmente após a invenção do transistor, na década de 1940, o mundo presenciou uma revolução tecnológica. Cada vez mais, vemos circuitos eletrônicos menores e com capacidades ainda maiores do que as dos anteriores.

A velocidade dos lançamentos de novos equipamentos é cada vez maior. Difícilmente, vemos uma pessoa com o mesmo smartphone por mais de dois ou três anos. Haja dinheiro para se manter atualizado eletronicamente!

Obviamente, todo esse avanço também modifica a forma como são realizados os projetos eletrônicos, demandando contínua atualização dos projetistas e fabricantes. Foi-se o tempo em que as grandes indústrias tecnológicas trabalhavam com os circuitos integrados tradicionais, com pequenas funções específicas, como as famílias TTL e CMOS. Se, nas décadas de 1970 e 1980, esses componentes tiveram seu auge, hoje o cenário de projetos se encontra bastante modificado, principalmente após a chegada e a popularização dos Dispositivos Lógicos Programáveis — PLDs (Programmable Logic Device). A Tabela 1.1 situa historicamente as tecnologias eletrônicas predominantes.

**Tabela 1.1** – Histórico das tecnologias da eletrônica digital.

Tecnologia Predominante	Período
Tubos a vácuo	Até a década de 1950
Transistores	Décadas de 1950 e 1960
Circuitos Integrados (SSI, MSI, LSI, VLSI etc.), TTL, MOS e ASICs	Décadas de 1970 e 1980
ASICs, DSP, Microcontroladores, PLDs (CPLDs e FPGAs) e SOC	A partir da década de 1990

Atualmente, as principais tecnologias utilizadas pelos projetistas são os ainda bastante fortes: ASICs (Application Specific Integrated Circuit), microcontroladores, microprocessadores e PLDs (Programmable Logic Device).

1.3.1 A integração e a miniaturização da eletrônica

Essa evolução da eletrônica teve como grande marco a invenção do transistor, no final da década de 1940, substituindo as antigas válvulas termiônicas e permitindo a construção de circuitos muito mais compactos.

Na década de 1970, houve um grande crescimento dos circuitos integrados — CIs, ou seja, circuitos miniaturizados construídos dentro de um mesmo encapsulamento com escalas de integração cada vez maiores (Tabela 1.2), e, em 1971, o surgimento do primeiro processador, pela Intel.

Tabela 1.2 — Evolução das escalas de integração de circuitos.

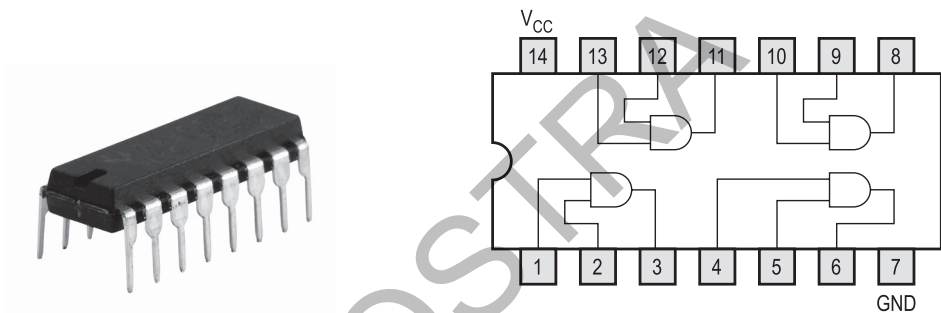
Sigla	Nomenclatura	Quantidade de portas lógicas em um único chip
SSI	<i>Small Scale Integration</i>	Até 10
MSI	<i>Medium Scale Integration</i>	De 10 a 100
LSI	<i>Large Scale Integration</i>	De 100 a 10000
VLSI	<i>Very Large Scale Integration</i>	De 10000 a 100000
ULSI	<i>Ultra Large Scale Integration</i>	> 100000

1.3.2 Um pouco sobre as famílias TTL e CMOS

No mercado, existem circuitos integrados — CIs digitais — para vários propósitos, contendo desde simples portas lógicas e flip-flops até os tradicionais circuitos combinacionais e sequenciais prontos para utilização em projetos.

Duas famílias de CIs tiveram bastante destaque e aceitação no mercado: TTL e CMOS. As famílias de componentes diferenciam-se entre si por diversos aspectos, como tecnologia de construção, consumo de energia e níveis de tensão de trabalho para entrada e saída de sinal.

A família TTL tem sua tecnologia de construção baseada em transistores bipolares e sua nomenclatura vem de *Transistor-Transistor Logic* (Lógica Transistor-Transistor). É alimentado com tensão contínua de 5V e seus chips são disponibilizados pelas famosas séries 54XX — para fins militares — e 74XX — para aplicações gerais (Figura 1.6).



A Encapsulamento DIP — Dual In-Line Package.

Fonte: Pixabay

B Diagrama de conexão do 7408 — portas AND (E).

Figura 1.6 — Circuito integrado tradicional.

A família CMOS — Complementary MOS (MOS complementar) — baseia-se na tecnologia MOS — Metal Oxide Semiconductor (Semicondutor de Óxido-Metal) —, sendo seus elementos construídos com transistores de efeito de campo do tipo MOSFET — Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.

Essa família é representada por diferentes séries de componentes, sendo a mais famosa a 4000. Há também as séries 54C/74C, 74HC, 74HCT que são compatíveis com os circuitos integrados TTL. Devido à variedade de séries disponível, a faixa de alimentação é bastante ampla (de 1V a 15V), sendo sempre necessário consultar o manual do fabricante.



A família CMOS é mais moderna e apresentou evoluções frente à TTL, como menor consumo de potência e dissipação de calor, alta imunidade a ruído e maior densidade de integração (maior compactação dos CIs).

1.3.3 ASIC — Application Specific Integrated Circuit (Circuito Integrado de Aplicação Específica)

Como sugere o nome, esse dispositivo é projetado e fabricado para atender a um propósito específico de um determinado sistema, ou seja, desde o momento de sua concepção, ele é pensado para aquela aplicação, de forma que nenhum outro circuito disponível no mercado atenderia àquele projeto e àquela aplicação de forma tão perfeita quanto um ASIC (desempenho, consumo de energia, pinagem, tamanho etc.). No entanto, seu desenvolvimento demanda muito tempo e envolve alto custo, se comparado às opções de mercado.

1.3.4 PLD — Programmable Logic Device (Dispositivo Lógico Programável)

É um dispositivo que permite que seu hardware interno seja configurado eletronicamente, por meio de linguagens específicas, para atender às demandas de um projeto.

Os primeiros dispositivos lançados continham algumas centenas de portas lógicas, poucas entradas e saídas, e só podiam ser programados uma vez. Hoje, são reprogramáveis e têm capacidade lógica infinitamente maior.

A utilização dessa tecnologia de dispositivos que utilizam a lógica programável para conceber sistemas digitais trouxe uma nova realidade na concepção de projetos. Técnicas e etapas tradicionais de projetos passaram a ser realizadas por um computador por meio de um software de desenvolvimento, entre elas: obtenção de expressões booleanas, levantamento da tabela-verdade do circuito com as combinações possíveis de entradas e respectivos comportamentos para as saídas, simplificação de circuitos, seleção de quais componentes (CIs) comprar e como os interligar.

Além de tornar os ciclos de projetos mais curtos e ágeis, essa tecnologia facilitou seus processos de testes e suas alterações, reduziu a quantidade de dispositivos, o tamanho das placas, o consumo de energia e o custo, e ainda maximizou a confiabilidade e a segurança dos circuitos.

Os PLDs podem ser divididos em dois grandes grupos: dispositivos lógicos programáveis simples — **SPLDs** — e dispositivos lógicos programáveis de alta capacidade — **HCPLDs**. A Figura 1.7 apresenta a classificação das tecnologias de sistemas digitais:

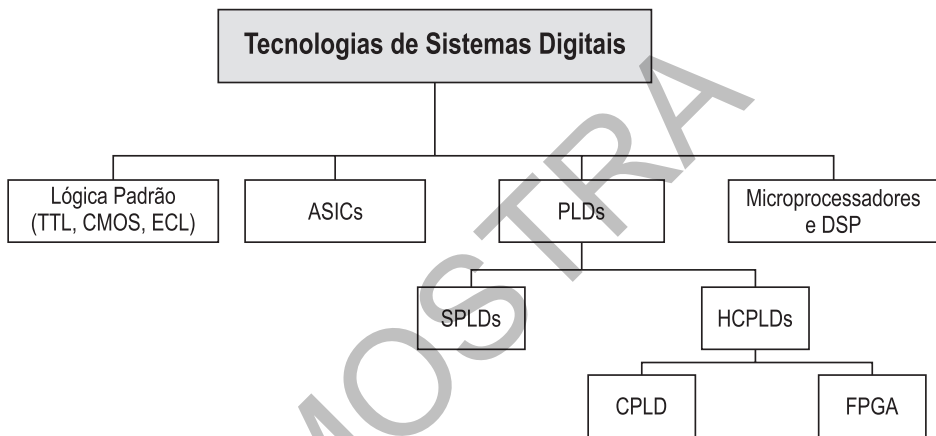
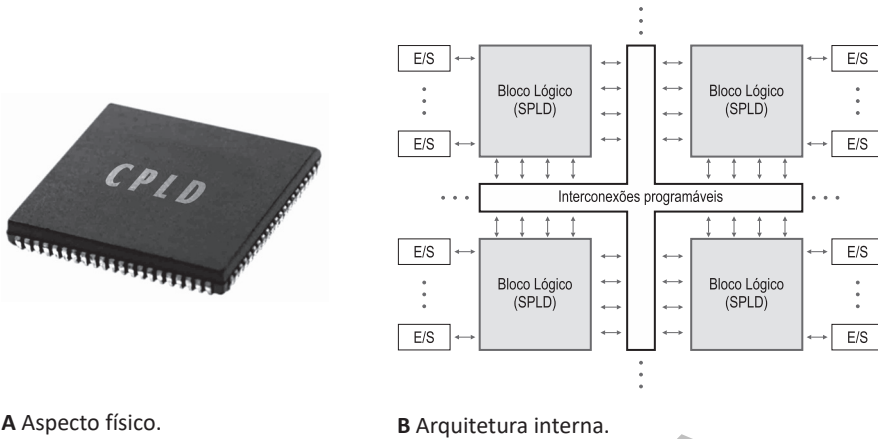


Figura 1.7 — Tecnologias de sistemas digitais.

No Anexo 2, no fim deste livro, explicaremos a evolução desses dispositivos e suas características principais. No entanto, ainda será abordado neste livro, com mais detalhes, os HCPLDs (CPLD e FPGA).

1.3.5 Tecnologia CPLD

O CPLD — Complex Programmable Logic Device (Dispositivo Lógico Programável Complexo) — é um arranjo de SPLDs, ou seja, um conjunto de blocos lógicos de menor complexidade lógica reunidos em um único dispositivo (Figura 1.8).



A Aspecto físico.

B Arquitetura interna.

Figura 1.8 — CPLD.

Criado pela Altera Inc., em 1984, os modelos de CPLD possuem quantidade de blocos lógicos variável dependendo do componente e da família a que pertence.

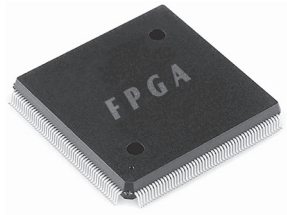
Entre os blocos lógicos, existem interconexões programáveis responsáveis por conectá-los conforme o circuito que se deseja construir.

1.3.6 Tecnologia FPGA

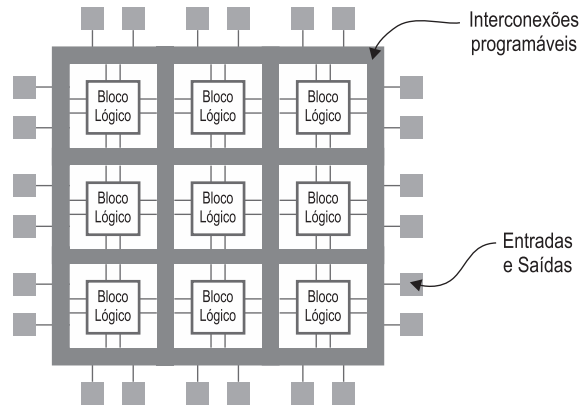
O FPGA — Field Programmable Gate Array (Arranjo de portas programável em campo) — integra o grupo dos HCPLDs e seu primeiro representante foi criado em 1983 pela empresa Xilinx Inc. A Figura 1.9A apresenta o aspecto físico de um FPGA e a sua arquitetura interna.

O FPGA é constituído, basicamente, por um grande arranjo de blocos lógicos conectados uns aos outros por canais de roteamento programáveis, formando uma matriz bidimensional (Figura 1.9B).

O FPGA difere do CPLD na sua constituição e tamanho dos seus blocos lógicos, que não mais se baseiam nas arquiteturas dos SPLDs. O seu roteamento é, também, mais eficiente, ele tem a possibilidade de atingir níveis de integração superior ao CPLD, e, portanto, sua implementação é mais compactada.



A Aspecto físico.

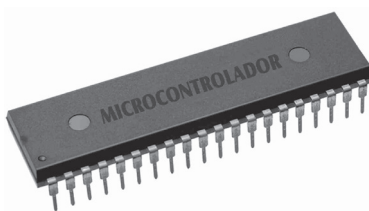


B Arquitetura interna.

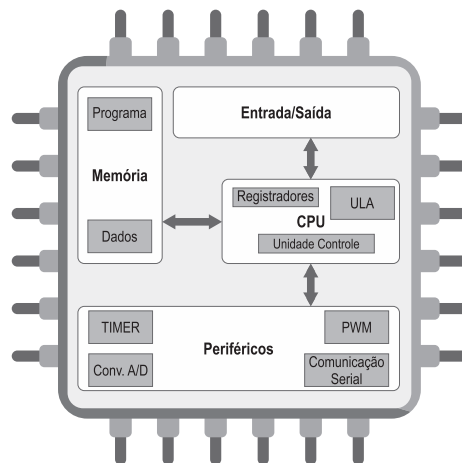
Figura 1.9 — FPGA.

1.3.7 Microcontrolador

É um circuito integrado programável (Figura 1.10A) dotado de processador, memórias/registradores, Unidade Lógica Aritmética — ALU (Arithmetic Logic Unit) —, entradas e saídas — I/O (Input/Output) — e circuitos periféricos (Figura 1.10B). É comum compará-lo a um computador em miniatura, de forma que a programação (software) comandará o funcionamento do circuito (hardware).



A Aspecto físico.



B Arquitetura interna.

Figura 1.10 — Microcontrolador.