

*FUNDAMENTOS DE*

---

**COMUNICAÇÃO  
ELETRÔNICA**



F879f Frenzel, Louis E.  
Fundamentos de comunicação eletrônica : linhas,  
micro-ondas e antenas / Louis E. Frenzel Jr. ; tradução: José  
Lucimar do Nascimento ; revisão técnica: Antonio Pertence  
Júnior. – 3. ed. – Porto Alegre : AMGH, 2013.  
xiv, 242 p. : il. color. ; 20 x 25 cm.

ISBN 978-85-8055-155-6

1. Engenharia de comunicação – Eletrônica. 2. Comunicação  
eletrônica. 3. Linhas. 4. Micro-ondas. 5. Antenas. I. Título.

CDU 621.391

LOUIS E. FRENZEL JR.  
ELECTRONIC DESIGN MAGAZINE

*FUNDAMENTOS DE*

---

# COMUNICAÇÃO ELETRÔNICA

3ª EDIÇÃO

*LINHAS, MICRO-ONDAS  
E ANTENAS*

**Tradução**

José Lucimar do Nascimento

Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Especialista em Sistemas de Controle pela Universidade Federal de Minas Gerais  
Professor e Coordenador de Ensino do Centro Tecnológico de Eletroeletrônica

**Revisão Técnica**

Antonio Pertence Júnior MSc

Mestre em Engenharia pela Universidade Federal de Minas Gerais  
Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Pós-graduado em Processamento de Sinais pela Ryerson University, no Canadá  
Professor da Universidade FUMEC  
Membro da Sociedade Brasileira de Eletromagnetismo



---

AMGH Editora Ltda.

2013

Obra originalmente publicada sob o título  
*Principles of Electronic Communication Systems*, 3<sup>rd</sup> Edition  
ISBN 007322278X / 9780073333783

Original edition copyright © 2008, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, New York 10020.  
All rights reserved.

Portuguese language translation copyright © 2013, AMGH Editora Ltda.  
All rights reserved.

Capa e projeto gráfico: *Paola Manica*

Leitura final: *Bianca Basile Parracho*

Coordenadora editorial: *Sandra Chelmicki*

Editora responsável por esta obra: *Verônica de Abreu Amaral*

Editoração eletrônica: *Techbooks*

Reservados todos os direitos de publicação, em língua portuguesa, à  
AMGH EDITORA LTDA., uma empresa do GRUPO A EDUCAÇÃO S.A.  
A série TEKNE engloba publicações voltadas à educação profissional, técnica e tecnológica.

Av. Jerônimo de Ornelas, 670 – Santana  
90040-340 – Porto Alegre – RS  
Fone: (51) 3027-7000 Fax: (51) 3027-7070

É proibida a duplicação ou reprodução deste volume, no todo ou em parte, sob quaisquer  
formas ou por quaisquer meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, distribuição na Web  
e outros), sem permissão expressa da Editora.

Unidade São Paulo  
Av. Embaixador Macedo Soares, 10.735 – Pavilhão 5 – Cond. Espace Center  
Vila Anastácio – 05095-035 – São Paulo – SP  
Fone: (11) 3665-1100 Fax: (11) 3667-1333

SAC 0800 703-3444 – [www.grupoa.com.br](http://www.grupoa.com.br)

IMPRESSO NO BRASIL  
PRINTED IN BRAZIL



# Agradecimentos

Apesar de a produção de uma nova edição de um livro não envolver o mesmo esforço que escrever um novo livro, esta última revisão foi um projeto importante. Meus agradecimentos especiais ao gerente de editoração Jonathan Plant e ao editor Thomas Casson pelo contínuo apoio e incentivo para tornar este trabalho uma realidade. Foi um prazer trabalhar com vocês.

Registro também o meu apreço aos professores que revisaram o livro e enviaram comentários, críticas e sugestões. Agradeço por dedicarem seu tempo na elaboração dessas valiosas informações. Implementei praticamente todas as suas recomendações. Apreciei, em particular, a extensa lista de comentários de Walt Curry, da United States Naval Academy, dos quais a maioria incluí nesta obra. Os seguintes revisores analisaram o manuscrito em várias etapas, e forneceram boas sugestões para a nova edição:

Heng Chan

*Mohawk College (ON)*

Capitão Walter N. Currier Jr.

*United States Naval Academy (MD)*

William C. Donaldson

*Wake Technical College (NC)*

Robbie Edens

*ECPI College of Technology (SC)*

Terry Fleischman

*Fox Valley Technical College (WI)*

Richard Fornes

*Johnson College (PA)*

G. J. Gerard

*Gateway Community College (CT)*

Georges C. Livanos

*Humber College (ON)*

Robert J. Lovelace

*East Mississippi Junior College (MS)*

Robert Most

*Ferris State University (MI)*

Tom N. Neal Jr.

*Griffin Technical College (GA)*

Phillip C. Purvis

*George C. Wallace Community College (AL)*

Pravin M. Raghuvanshi

*DeVry University (NJ)*

William Salice

*ECPI College of Technology (VA)*

Randy Winzer

*Pittsburg State University (KS)*

Com as informações mais recentes vindas da indústria e as sugestões daqueles que usam o livro, esta edição deve estar mais próxima do que nunca de ser um texto ideal para o ensino da comunicação eletrônica atual.

Lou Frenzel  
Austin, Texas





# Prefácio

Esta terceira edição de *Fundamentos de Sistemas de Comunicação Eletrônica* foi totalmente revisada, tornando o livro um dos mais atualizados na abordagem dos fundamentos da comunicação eletrônica e das tecnologias de comunicação. Devido ao fato de o campo das comunicações eletrônicas mudar tão rapidamente, é um desafio constante manter atualizado um livro sobre o assunto. Apesar de os princípios permanecerem os mesmos, sua ênfase e sua relevância mudam ao passo que a tecnologia se desenvolve. Além disso, os alunos precisam não só de consistência nos conhecimentos fundamentais, mas também de uma compreensão essencial de componentes, circuitos, equipamentos e sistemas usados atualmente. Esta última edição tenta equilibrar os princípios com uma visão geral das técnicas mais recentes.

Um dos principais objetivos desta revisão é aumentar a ênfase no *nível de compreensão dos sistemas* de comunicação e tecnologias de comunicação. Atualmente, devido ao alto nível de integração de circuitos de comunicações, o engenheiro e o técnico passam a trabalhar mais com placas de circuito impresso, módulos, cartões *plug-in* e equipamentos em vez de circuitos que criam a necessidade de lidar com componentes eletrônicos. Assim, circuitos obsoletos foram removidos deste livro, sendo substituídos por sistemas com mais circuitos integrados e a análise voltada para diagramas em bloco de sistemas. Os engenheiros e técnicos de comunicação modernos trabalham com especificações e padrões e dedicam seu tempo testando, medindo, instalando e solucionando problemas. Esta edição foi planejada considerando esse contexto atual. A análise detalhada de circuitos foi mantida em áreas selecionadas onde se mostrou útil na compreensão de conceitos e questões sobre os equipamentos atuais.

No passado, um curso de comunicação era considerado apenas uma opção em muitos currículos de eletrônica. Hoje, a comuni-

cação é o maior setor do campo da eletrônica, compreendendo a maior parte dos seus profissionais e tendo a maior venda anual de equipamentos. Além disso, as tecnologias *wireless* e de rede, entre outras, são aplicadas a quase todos os produtos eletrônicos. Isso faz o conhecimento e a compreensão da comunicação eletrônica serem não uma opção, mas uma necessidade de cada aluno. Sem o estudo de apenas um dos conteúdos de comunicação eletrônica, o estudante pode se formar com uma visão incompleta de produtos e sistemas comuns na área atualmente. Este livro fornece os fundamentos e o contexto para atender às necessidades de um curso no campo da eletrônica.

Assim como a revista *Communications and Networking Editor for Electronic Design Magazine* (Penton Media) e o editor do boletim informativo *on-line Wireless System Design Update*, testemunho diariamente as contínuas mudanças nos componentes, circuitos, equipamentos, sistemas e aplicações das comunicações modernas. Como pesquiso esse campo, entrevisto engenheiros e executivos e participo de muitas conferências para artigos e colunas que escrevo, tenho visto a importância crescente das comunicações em nossas vidas. Procurei trazer essa perspectiva para esta última edição, em que as técnicas e as tecnologias mais recentes são explicadas. Essa perspectiva, juntamente com o retorno e a percepção de alguns de vocês, que ensinam a matéria, resultou em um texto mais adequado aos estudantes do século XXI.

Em um livro de grande porte como este, é difícil atender às necessidades de todos os leitores quanto à abordagem dos assuntos. Alguns querem uma abordagem de maior extensão, já outros desejam uma profundidade maior. Tentei encontrar um equilíbrio entre os dois. Como sempre, estou ansioso para ouvir vocês, que usam o livro, e receber suas sugestões para a próxima edição.

---

## »» Ambiente virtual de aprendizagem Tekne

No ambiente virtual de aprendizagem estão disponíveis recursos em português para potencializar a absorção de conteúdos. Visite o site [WWW.GRUPOA.COM.BR/TEKNE](http://WWW.GRUPOA.COM.BR/TEKNE) para ter acesso.

**Capítulo 6** Adição de acesso múltiplo por divisão de código, o sistema de dados radiofônicos e subsistemas SCA em rádios FM. Eliminação da abordagem sobre sistemas de telemetria PAM obsoletos. Uma nova seção sobre duplexação por divisão de tempo e frequência.

**Capítulo 7** Abordagem expandida de modulação digital e eficiência espectral. Adição de uma explicação de como diferentes esquemas de modulação digital afetam a taxa de erro de bit (BER) em sistemas de comunicação. Acréscimo de comparações com base em BER *versus* relação portadora-ruído (C/N). Seções atualizadas sobre espalhamento espectral e OFDM. Uma nova seção sobre codificação turbo e convolucional.

---

## »» Características de aprendizagem

Esta terceira edição de *Fundamentos de Sistemas de Comunicação Eletrônica* foi completamente redesenhada para ter

um leiaute de página mais atraente e acessível. Para orientar os leitores e proporcionar uma abordagem integrada de aprendizagem, cada capítulo contém:

- Objetivos do capítulo
- Palavras-chave
- Pequenos artigos sobre os pioneiros da eletrônica
- Exemplos com soluções
- Resumo do capítulo
- Questões
- Problemas
- Pontos para raciocínio crítico

---

## »» Recursos para os professores

Conheça o material do livro disponível no site da editora, [WWW.GRUPOA.COM.BR](http://WWW.GRUPOA.COM.BR). Para acessar PowerPoints® com aulas estruturadas em português, bancos de testes em inglês e o *Instructor's Manual* do livro, procure o livro no nosso catálogo e acesse a exclusiva Área do Professor por meio de um cadastro.



# Sumários resumidos

*Fundamentos de Sistemas de Comunicação Eletrônica: Linhas, Micro-ondas e Antenas* é o primeiro livro de Frenzel. Além deste, está disponível o título *Fundamentos de Sistemas de Comunicação Eletrônica: Modulação, Demodulação e Recepção*. Para conhecer os assuntos abordados em cada um deles, apresentamos os sumários resumidos a seguir.

## **LINHAS, MICRO-ONDAS E ANTENAS**

- capítulo 1**    *LINHAS DE TRANSMISSÃO*
- capítulo 2**    *ANTENAS E PROPAGAÇÃO DE ONDAS*
- capítulo 3**    *COMUNICAÇÃO EM MICRO-ONDAS*
- capítulo 4**    *COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE*
- capítulo 5**    *COMUNICAÇÃO ÓPTICA*
- capítulo 6**    *MULTIPLEXAÇÃO E DEMULTIPLEXAÇÃO*
- capítulo 7**    *TRANSMISSÃO DE DADOS BINÁRIOS EM SISTEMAS DE  
COMUNICAÇÃO*



# MODULAÇÃO, DEMODULAÇÃO E RECEPÇÃO

- capítulo 1** *INTRODUÇÃO À COMUNICAÇÃO ELETRÔNICA*
- capítulo 2** *FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA*
- capítulo 3** *FUNDAMENTOS DA MODULAÇÃO EM AMPLITUDE*
- capítulo 4** *CIRCUITOS MODULADORES E DEMODULADORES DE AMPLITUDE*
- capítulo 5** *FUNDAMENTOS DA MODULAÇÃO EM FREQUÊNCIA*
- capítulo 6** *CIRCUITOS FM*
- capítulo 7** *TÉCNICAS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL*
- capítulo 8** *TRANSMISSORES DE RÁDIO*
- capítulo 9** *RECEPTORES DE COMUNICAÇÃO*



# Sumário

<b>capítulo 1</b>	<b><i>LINHAS DE TRANSMISSÃO</i></b>	<b>1</b>
	Fundamentos de linhas de transmissão	2
	Ondas estacionárias	14
	Linhas de transmissão como elementos de circuito	23
	Carta de Smith	27
<b>capítulo 2</b>	<b><i>ANTENAS E PROPAGAÇÃO DE ONDAS</i></b>	<b>41</b>
	Fundamentos de antenas	42
	Tipos comuns de antenas	49
	Propagação de onda de rádio	73
<b>capítulo 3</b>	<b><i>COMUNICAÇÃO EM MICRO-ONDAS</i></b>	<b>90</b>
	Conceitos de micro-ondas	91
	Linhas e dispositivos de micro-ondas	98
	Guias de ondas e ressonadores de cavidade	106
	Diodos semicondutores de micro-ondas	118
	Válvulas de micro-ondas	122
	Antenas de micro-ondas	126
	Aplicações de micro-ondas	141
<b>capítulo 4</b>	<b><i>COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE</i></b>	<b>153</b>
	Órbitas de satélites	154
	Sistemas de comunicação via satélite	160
	Subsistemas de satélite	164
	Estações terrestres	168
	Aplicações de Satélite	176
	Sistema de posicionamento global	180
<b>capítulo 5</b>	<b><i>COMUNICAÇÃO ÓPTICA</i></b>	<b>190</b>
	Princípios de óptica	191
	Sistemas de comunicação óptica	195
	Cabos de fibra óptica	199
	Transmissores e receptores ópticos	210
	Multiplexação por divisão de comprimento de onda	223
	Redes ópticas passivas	225

RESPOSTAS DOS PROBLEMAS SELECIONADOS 233

---

CRÉDITOS 235

---

ÍNDICE 237

---



**capítulo 6** *MULTIPLEXAÇÃO E DEMULTIPLEXAÇÃO* 1



**capítulo 7** *TRANSMISSÃO DE DADOS BINÁRIOS EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO* 28



# Visão geral do livro

## Características de aprendizagem

Fundamentos de Comunicação Eletrônica traz muitos recursos de aprendizagem ao longo dos capítulos, entre eles:

### Introdução ao capítulo

Cada capítulo começa com uma breve introdução, preparando o terreno para o que os alunos estão prestes a aprender.

### Objetivos do capítulo

Este recurso fornece uma concisa descrição dos resultados de aprendizagem esperados.

### Exemplos

Cada capítulo contém exemplos resolvidos que demonstram conceitos importantes ou funcionamentos de circuitos, incluindo análise de circuitos, aplicações, análise de defeito e projeto básico.

### É bom saber

Este recurso destaca informações interessantes relacionadas aos tópicos apresentados.

## capítulo 2

# Antenas e propagação de ondas

Em sistemas de comunicação wireless, um sinal RF gerado por um transmissor é enviado para o espaço livre e, eventualmente, captado por um receptor. A interface entre o transmissor e o espaço livre e entre o espaço livre e o receptor é a antena. A incrível variedade de tipos de antena utilizados na comunicação de rádio é baseada em alguns conceitos-chave. Este capítulo apresenta todas as antenas mais populares e amplamente utilizadas em aplicações de HF, VHF, UHF. Antenas de micro-ondas são abordadas no Capítulo 3. Também são discutidas as características de espaço livre e sua capacidade de propagar sinais a longas distâncias. Um estudo da propagação de ondas, de como os sinais de rádio são afetados pela terra e pelo espaço ao se deslocarem da antena transmissora para a antena receptora, é fundamental para a compreensão de como garantir uma comunicação confiável sobre a distância desejada em frequências específicas.

### Objetivos deste capítulo

- » Descrever as características de uma onda de rádio.
- » Calcular o comprimento de antenas de um quarto de comprimento de onda e meio comprimento de onda, dada a frequência de operação.
- » Citar os tipos básicos de antena e as características de cada uma.
- » Explicar como arranjos de antenas são usados para criar diretividade e ganho.
- » Descrever as formas em que o projeto de uma antena pode ser modificado para produzir uma combinação ideal entre as impedâncias de um transmissor e uma antena.
- » Descrever as características de ondas de superfície, as ondas celestes e as ondas espaciais.
- » Calcular a intensidade do sinal.
- » Definir desvanecimento e diversidade na recepção.

... geralmente maior do que  $10$ ,  $L_w$  é aproximadamente igual ao valor da indutância real,  $L$ . A impedância total do circuito na ressonância é igual a resistência em paralelo equivalente:

$$Z = R_w$$

#### EXEMPLO 2-20

Qual é a impedância de um circuito em paralelo LC com uma frequência ressonante de 52 MHz e um  $Q$  de 12?  $L = 0,15 \mu\text{H}$ .

$$Q = \frac{X_L}{R_w}$$

$$X_L = 2\pi fL = 6,28(52 \times 10^6)(0,15 \times 10^{-6}) = 49 \Omega$$

$$R_w = \frac{X_L}{Q} = \frac{49}{12} = 4,1 \Omega$$

$$Z = R_w(Q^2 + 1) = 4,1(12^2 + 1) = 4,1(145) = 592 \Omega$$

Se o  $Q$  do circuito em paralelo ressonante for maior do que 10, pode ser usada a seguinte fórmula simplificada para calcular a impedância resistiva na ressonância:

$$Z = \frac{L}{CR_w}$$

O valor de  $R_w$  é a resistência do enrolamento da bobina.

#### EXEMPLO 2-21

Calcule a impedância do circuito dado no Exemplo 2-20 usando a fórmula  $Z = L/CR_w$ .

$$f = 52 \text{ MHz} \quad R_w = 4,1(12^2 + 1) \quad L = 0,15 \mu\text{H}$$

#### EXEMPLO 2-21

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{1}{39,478(52 \times 10^6)^2 (0,15 \times 10^{-6})}$$

$$= 6,245 \times 10^{-11}$$

$$Z = \frac{L}{CR_w} = \frac{0,15 \times 10^{-6}}{(62,35 \times 10^{-11})(4,1)} = 586 \Omega$$

Este valor de 592  $\Omega$  coincide com o calculado anteriormente. A fórmula  $Z = L/CR_w$  é uma aproximação.

#### É BOM SABER

A largura de banda de um circuito é inversamente proporcional ao  $Q$  do circuito. Quanto maior o  $Q$ , menor a largura de banda. Valores baixos de  $Q$  produzem larguras de banda amplas ou menor seletividade.

A Figura 2-22 mostra curvas de frequência e resposta de fase de um circuito em paralelo ressonante. Abaixo da frequência de ressonância  $X_L$  é menor do que  $X_C$ ; portanto, a corrente indutiva é maior do que a capacitiva e o circuito se mostra indutivo. A corrente de linha está atrasada da tensão aplicada. Acima da frequência de ressonância  $X_C$  é menor do que  $X_L$ ; portanto, a corrente capacitiva é maior do que a indutiva e o circuito se mostra capacitivo. Portanto, a corrente de linha está adiantada da tensão aplicada.

## Pioneiros da eletrônica

Este recurso destaca pesquisadores e seus respectivos trabalhos que contribuíram para o desenvolvimento da eletrônica. O atual nível da eletrônica é fruto do trabalho desses pioneiros.

## Revisão do capítulo

Os alunos podem usar os resumos quando estiverem fazendo revisão para as avaliações ou apenas para ter certeza de que não perderam quaisquer conceitos importantes.

## Problemas

Os estudantes fazem uma verificação dos objetivos com a resolução dos problemas que seguem os exemplos. As respostas dos problemas selecionados se encontram no final do livro.

## Raciocínio crítico

Existe um grupo de questões que exige do estudante um raciocínio crítico com base nos conhecimentos adquiridos em cada capítulo.

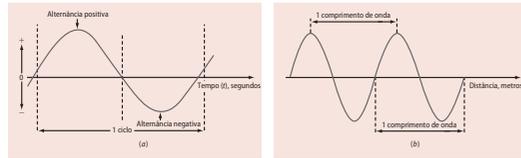


Figura 1-15 Freqüência e comprimento de onda. (a) Um ciclo. (b) Um comprimento de onda.

### • PIONEIROS DA ELETRÔNICA

Em 1887 o físico alemão Heinrich Hertz foi o primeiro a demonstrar o efeito da radiação eletromagnética no espaço. A distância de transmissão foi de apenas alguns pés, mas essa transmissão provou que as ondas de rádio podem se deslocar de um lugar para outro sem a necessidade de qualquer conexão por fios. Hertz também provou que as ondas de rádio, embora invisíveis, se deslocam com a mesma velocidade das ondas de luz. (Grob/Schultz, Basic Electronics, 9ª edição, Glencoe/McGraw-Hill, 2003, p.4)

Os prefixos que representam potências de 10 são geralmente usados para expressar freqüências. Os prefixos mais usados são:

se o sinal for uma onda eletromagnética, um comprimento de onda é a distância que um ciclo ocupa no espaço livre. Ele é a distância entre picos ou vales adjacentes dos campos elétrico e magnético que constituem uma onda.

O comprimento de onda também é a distância percorrida por uma onda eletromagnética durante o tempo de um ciclo. As ondas eletromagnéticas se deslocam na velocidade da luz, ou seja, 299.792.800 m/s. Geralmente, a velocidade da luz e das ondas de rádio no vácuo ou no ar é arredondada para 300.000.000 m/s ( $3 \times 10^8$  m/s), ou 186 milhas por segundo. Em média, a velocidade da transmissão em um cabo é menor.

O comprimento de onda de um sinal, que é representado pela letra grega  $\lambda$  (lambda), é calculado dividindo-se a velocidade da luz pela freqüência  $f$  da onda em hertz:  $\lambda = 300.000.000/f$ . Por exemplo, o comprimento de onda de um sinal de 4.000.000 Hz é

## • REVISÃO DO CAPÍTULO

### Resumo

Todos os sistemas de comunicação consistem de três partes básicas: transmissor, canal de comunicação (meio) e receptor. As mensagens são convertidas em sinais elétricos e enviadas por meio de fio, fibra óptica ou pelo espaço livre para um receptor. A atenuação (enfraquecimento) e o ruído podem interferir com a transmissão.

As transmissões em comunicação eletrônica são classificadas como (1) unidirecional (simplex) ou bidirecional (full duplex e half duplex) e os sinais como (2) analógicos ou digitais. Os sinais analógicos variam de forma suave e contínua. Os sinais digitais são códigos discretos de dois estados (on/off). Os sinais eletrônicos geralmente podem ser convertidos de analógico para digital e vice-versa. Antes da transmissão, os sinais eletrônicos são denominados de sinais de banda base.

A modulação em amplitude e freqüência tornam um sinal de informação compatível com o canal pelo qual será enviado, modificando a portadora por meio de uma mudança na amplitude, freqüência ou ângulo de fase e o envio deste sinal por uma antena é um processo conhecido como comunicação de banda larga. A multiplexação por divisão de freqüência e por divisão de tempo permite que mais de um sinal de cada vez seja transmitido pelo mesmo meio.

Todos os sinais eletrônicos que radiam no espaço são parte do espectro eletromagnético; a localização deles no espectro é determinada pela freqüência. A maior parte dos sinais de informação a ser transmitida são de baixas freqüências e modulam uma onda portadora de freqüência maior.

A quantidade de informação que um determinado sinal pode transportar depende em parte da largura de banda. O espaço disponível para transmissão de sinais é limitado e os sinais transmitidos na mesma freqüência ou com freqüências sobpostas causam interferência entre si. Esforços de pesquisa são direcionados para desenvolver o uso de sinais de freqüências mais altas e minimizar a largura de banda necessária.

O uso do espectro é regulado pelo governo. Nos Estados Unidos isso é feito pela FCC e NTA e, em outros países, por agências equivalentes. Os padrões para os sistemas de comunicações especificam como a informação é transmitida e recebida. Os padrões são definidos por organizações independentes como a ANS, EIA, ETSI, IEEE, ITU, IETF e TTA.

As quatro principais especialidades da eletrônica são a informática, a comunicação, o controle industrial e a instrumentação. Existem muitas oportunidades de trabalho no campo da comunicação eletrônica.

### Questões

- Qual o século que marcou o início da comunicação eletrônica?
- Cite as quatro partes principais de um sistema de comunicação e desenhe um diagrama que mostre a relação entre eles.
- Liste os cinco tipos de mídia usados para comunicação e determine quais os três mais usados.
- Qual o dispositivo usado para converter um sinal de informação para um formato compatível com o meio no qual será transmitido?
- Qual a parte de um equipamento que recebe um sinal de comunicação a partir do meio e recupera o sinal de informação original?
- Qual o nome dado à informação original ou sinais de informação que são transmitidos diretamente pelo meio de comunicação?
- Cite os dois formatos nos quais um sinal de informação pode se apresentar.
- Qual o outro nome dado à comunicação unidirecional?
- Qual o outro nome dado à comunicação bidirecional simultânea? Apresente três exemplos.
- Qual o termo usado para descrever a comunicação bidirecional na qual cada parte transmite de cada vez? Apresente três exemplos.

- Cite cinco operações de processamento comuns que são realizadas por DSPs. Qual é provavelmente a mais comum implementada em aplicações DSP?
- Descreva resumidamente a natureza da saída de um processador DSP que realiza a transformada discreta de Fourier ou a transformada rápida de Fourier.
- Cite os dois tipos de filtros implementados com DSP e explique a diferença entre eles.
- Que funções úteis são realizadas por um cálculo de FFT?

### Problemas

- Um sinal de vídeo contém variações de luz que mudam numa freqüência tão alta quanto 3,5 MHz. Qual a freqüência de amostragem mínima para uma conversão A/D?
- Um conversor da tem uma entrada binária de 12 bits. A tensão analógica de saída varia de 0 a 5 V. Quantos incrementos discretos de tensão existem e qual é o menor incremento de tensão?
- Calcule o sinal falseado criado pela amostragem de um sinal de 5 kHz com uma taxa de amostragem de 8 kHz.
- Calcule o ruído de quantização de um conversor A/D de 14 bits com uma faixa de tensão de 3V.
- Qual é o SINAD para um ADC de 15 bits?
- Calcule o ENOB para um conversor com um SINAD de 83 dB.

♦ As respostas para os problemas selecionados estão no final do capítulo.

### Raciocínio crítico

- Liste os três principais tipos de serviços de comunicação que ainda não são digitais mas poderia ser e explique como as técnicas digitais poderiam ser aplicadas nestes serviços.
- Explique como um receptor totalmente analógico processa o sinal analógico de uma transmissora de rádio AM.
- Que tipo de conversor A/D funcionaria melhor para sinais de vídeo com uma freqüência de até 5 MHz? Por quê?
- Sob que condições a transferência serial de dados pode ser mais rápida que a paralela?