Sistemas de telecomunicações

Sistemas de telecomunicações

Claudio Ferreira Dias

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente
Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação
Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico
Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica
Glauber Maroto Ferreira
Ruy Flávio de Oliveira

Editorial
Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Dias, Claudio Ferreira.
D541s Sistemas de telecomunicações / Claudio Ferreira Dias.
– Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017.
200 p.

ISBN 978-85-522-0197-7

1. Telecomunicações. I. Título.

CDD 621.381

2017
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 — Londrina — PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: http://www.kroton.com.br/

Sumário

Unidade 1 | Introdução às telecomunicações 7

Seção 1.1 - Histórico das telecomunicações 9
Seção 1.2 - Conceitos básicos 22
Seção 1.3 - Contexto atual do cenário das telecomunicações 35

Unidade 2 | Componentes básicos 53

Seção 2.1 - Radiotransmissor 55
Seção 2.2 - Radiorreceptor 69
Seção 2.3 - Linhas de transmissão 84

Unidade 3 | Meios de comunicação 101

Seção 3.1 - Sistemas de comunicação via rádio 103
Seção 3.2 - Sistemas de comunicação por fibra óptica 119
Seção 3.3 - Sistemas de comunicação via satélite 134

Unidade 4 | Noções de redes e serviços integrados 151

Seção 4.1 - Rede telefônica 153
Seção 4.2 - Comunicações móveis 168
Seção 4.3 - Redes de comunicação de dados 183

Palavras do autor

Você pode nem perceber, mas as telecomunicações têm um grande impacto em sua vida. Ter acesso instantâneo à informação ou trabalhar em qualquer lugar do mundo sem sair de casa não era possível até pouco tempo atrás. A tecnologia gerou um impacto profundo sobre a sociedade civil moderna, principalmente ao diminuir distâncias geográficas com a expansão do conceito de globalização. Isso somente foi possível devido à rapidez de acesso à informação, à uniformização dos padrões de vida e simplificação da operação dos sistemas de tecnologia.

Neste nosso estudo, o objetivo será o de apresentar para você a importância das telecomunicações e garantir que você tenha aprendido habilidades necessárias para atuar com sucesso nesta profissão. Nosso compromisso será o de guiá-lo ao longo dos conteúdos apresentados aqui e sua missão é dedicar-se aos estudos. Assim, ao final deste curso, você estará apto a conhecer e identificar os componentes básicos de um sistema de telecomunicações.

Nós dividimos o conteúdo da seguinte forma: na Unidade 1, você deve aprender sobre a história das telecomunicações, os conceitos básicos desta área e obter uma visão geral sobre o cenário atual das telecomunicações. Na Unidade 2, você avança mais aprendendo sobre os conceitos de rádio transmissor, rádio receptor e linhas de transmissão. Na Unidade 3, você aprende mais sobre sistemas de comunicação via rádio, por fibra óptica e via satélite. A Unidade 4 encerra o assunto lhe apresentando os sistemas atuais de rede telefônica, comunicações móveis e redes de dados.

Trabalhamos muito para produzir um conteúdo interessante e claro, que objetiva sustentar a sua empolgação durante todo o curso. Esperamos que o resultado de seus estudos lhe proporcione habilidades de alto nível e que você tenha sucesso em sua carreira.

Introdução às telecomunicações

Convite ao estudo

Caro estudante,

Gostaríamos de convidá-lo para observar a realidade à sua volta e perceber características interessantes no comportamento das pessoas. Não é difícil perceber que todas as pessoas estão interagindo com dispositivos de maneira bastante concentrada na maior parte do tempo. Seja para entretenimento, seja para trabalho, a utilização destes sistemas é comum ao nosso cotidiano. Não seria audacioso dizer que seria um golpe duro sobre a vida humana se a tecnologia simplesmente fosse tomada de nós.

A tecnologia gerou um impacto profundo sobre a sociedade civil moderna, encurtando distâncias, melhorando o diagnóstico/tratamento de doenças e até substituindo pessoas em trabalhos repetitivos. Conforme já foi dito, as telecomunicações têm um grande impacto em nossa vida e nos permitem, por exemplo, ter acesso instantâneo a um acervo sem fim de conhecimentos com apenas poucos cliques. É importante lembrar que estas mudanças não aconteceram há muito tempo e que a internet nasceu em 1969, ou seja, há apenas 48 anos. Você consegue imaginar como era a vida quando as pessoas não tinham tudo isso, no passado?

É muito importante se interessar pelos fatos do passado, pois estes influenciam o modo de vida das pessoas do presente e do futuro. Além disso, muitos dos conceitos básicos podem ser aprendidos com os cientistas que utilizaram a tecnologia para resolver problemas no passado. Com isso, você estará habilitado para lidar com soluções tecnológicas e entender sua influência no cenário social e político.

Finalmente, vamos começar os primeiros passos que você deve tomar para que tenha um conhecimento básico sobre a história, os conceitos e o contexto político das telecomunicações. Vamos lá?

Você se formou em telecomunicações há três anos e vive um momento ótimo para essa profissão. Há muitas empresas surgindo por causa do movimento *startup* e a demanda por serviços de tecnologia é grande. Neste ano haverá um evento de telecomunicações importante que irá reunir profissionais, empresas e academia. Devido à sua experiência e aos prêmios de excelência que ganhou durante sua graduação, você foi chamado para participar ativamente do evento. Você vai se envolver bastante com este evento e vamos começar tudo pela Seção 1.1, espaço em que você vai descobrir como será o desfecho desta história.

Seção 1.1

Histórico das telecomunicações

Diálogo aberto

Caro estudante,

A tecnologia de comunicações que conhecemos hoje é resultado de um processo de longos anos de pesquisa. Uma forma de entender este processo é por meio da investigação das bases históricas da ciência que culminaram no conhecimento dos conceitos que possuímos atualmente. Desta forma, é interessante saber o que vamos conhecer sobre as bases históricas e como aplicar os conhecimentos para fazer uma excelente participação no evento que acontecerá.

Você nasceu em uma cidade do interior de São Paulo e resolveu se formar em engenharia na capital. Graças ao seu bom rendimento acadêmico, conseguiu um bom emprego em uma empresa grande.

Devido à sua proximidade com a academia, você foi convidado para participar de um evento organizado em conjunto com empresas da cidade e academia. Sua participação no evento será por meio de uma apresentação sobre a história das telecomunicações para os estudantes do segundo grau. Você consegue compartilhar a mesma vibração que teve em seu período de estudo? Uma vez que estes estudantes estão se preparando para a carreira profissional, a sua missão será passar de forma clara e interessante os aspectos importantes da história das telecomunicações.

Vamos lá?

Não pode faltar

Neste momento, é muito importante que você entenda o contexto histórico, pois o surgimento das telecomunicações causou um impacto profundo no modo de vida da sociedade, que se desenvolveu como conhecemos atualmente. Começamos nossa história em um momento em que a tecnologia de comunicações por longa distância ainda não estava disponível para uso. O ano era o de

1860, nos Estados Unidos, e havia três empreendedores com objetivo de criar um sistema expresso de entrega de mensagens. Surgiu então a expresso pônei (em inglês, *pony express*) em que o serviço de transporte de mensagens era baseado em cavalos. O expresso pônei foi um serviço de correio para entrega de mensagens, jornais e cartas, de acordo com Mcneese (2009).

Durante seus 19 meses de operação, esta empresa reduziu o tempo para o envio de mensagens entre as costas do Atlântico e do Pacífico em torno de dez dias. Antes, o transporte era realizado por carruagens, as quais também transportavam pessoas. O cavalo conseguia ser duas vezes mais rápido do que as carruagens e a bolsa de transporte tinha uma jornada ininterrupta. A partir de 3 de abril de 1860 até outubro de 1861, tornou-se a maneira mais direta para comunicações de Leste a Oeste antes de o telégrafo ser estabelecido e foi vital para "amarrar" o novo estado da Califórnia com o resto dos Estados Unidos. Em 1860, havia em torno de 157 estações do expresso pônei que se distanciavam em uma média de 16 km ao longo de uma rota principal. Em cada estação de parada, o cavaleiro deveria trocar a montaria por outra descansada, levando consigo somente uma bolsa de cartas. Os proprietários da companhia estressavam a importância da responsabilidade sobre o transporte de mensagens. Era frequentemente dito que se alguém tivesse de perecer, que fosse primeiro o cavalo ou o cavaleiro, de acordo com Mcneese (2009).

Reflita

Os cavaleiros saiam de Kansas City, Missouri, até Oakland, Califórnia. A distância dessa rota era em torno de 3.106 km, e dez dias eram necessários para percorrer esta distância. Hoje, um voo direto demora apenas três horas, e um e-mail menos que alguns segundos. Você pode imaginar a importância destas transformações na economia de hoje?

Alguns anos antes, cientistas estavam desenvolvendo uma tecnologia que mudaria profundamente a vida de todos que necessitavam passar mensagens por grandes distâncias. As primeiras experiências com o que conhecemos hoje como circuito elétrico começaram a acontecer em 20 de março de 1800. Naquela época, o físico italiano Alessandro Volta anunciou a primeira bateria elétrica, marcando o início de um momento importante na história

da tecnologia. O dispositivo possibilitou a Volta circular um fluxo contínuo e permanente de eletricidade, corrente elétrica, em um circuito metálico fechado. Até aquele momento se conhecia apenas a eletricidade estática produzida por máquinas elétricas baseadas no princípio da troca de cargas entre corpos de materiais diferentes.

Volta nasceu ao norte da Itália, na cidade de Como, que na época fazia parte do império austríaco. Em sua vida acadêmica, realizava experimentos elétricos e se correspondia com os maiores investigadores europeus do ramo da eletricidade. Volta era professor de física na Universidade de Pádua desde 1782 e se envolveu em uma controvérsia com outro pioneiro da eletricidade, Luigi Galvani. Luigi Galvani era professor de anatomia em Bolonha e fazia experimentos com sapos utilizando eletricidade. Isso o levou a acreditar que a corrente elétrica era de origem animal, isto é, era gerada pelo próprio organismo. Volta, por outro lado, sustentava que a corrente elétrica tinha origem nos metais, visto que metais diferentes eram necessários para observar os efeitos resultantes da interação com as cobaias. Ao final, ambos tiraram conclusões importantes a respeito de seus experimentos. Galvani se tornou famoso como fundador da fisiologia neural e Volta revolucionou o uso da eletricidade e deu ao mundo uma de suas maiores conquistas, a corrente elétrica. Volta foi honrosamente agraciado durante sua vida pelas suas contribuições científicas. A unidade de força eletromotriz foi oficialmente denominada "Volt", como uma homenagem após 54 anos de sua morte, conforme apontam Johnson, Hilburn e Johnson (1994).

Exemplificando

A garrafa de Leyden foi um dos primeiros dispositivos capazes de armazenar energia elétrica. Este dispositivo foi inventado acidentalmente por Pieter van Musschenbroek, em 1746, e ele estudou suas propriedades. A garrafa não era muito útil, pois conseguia sustentar corrente elétrica por apenas um curto período de tempo. Já Alexandro Volta, ao empilhar alternadamente discos de zinco e de cobre separados por pedaços de tecido embebidos em solução de ácido sulfúrico, conseguia criar um fluxo de corrente contínuo sempre que um fio condutor era ligado nas extremidades de sua pilha.

Naquela época, não se conhecia profundamente o conceito de corrente e carga. Atualmente, entendemos que os átomos são

compostos de partículas fundamentais. As mais relevantes para nosso estudo são os prótons (carga positiva), nêutrons (carga neutra) e os elétrons (cargas negativas). O átomo é eletricamente neutro em condições normais, em que os elétrons estão em balanço de cargas com o número de prótons. Assim, certo material pode se carregar positivamente quando perde elétrons e se carregar negativamente quando ganha elétrons. Assim, podemos definir a unidade básica de carga, isto é, o *coulomb (C)*. Dizemos que a carga de um elétron é uma carga negativa de $1,6021 \times 10^{-19}$ C.

De maneira fundamental, podemos entender que a função básica de um circuito elétrico é mover ou transferir cargas através de um percurso físico específico. Chamamos este movimento de cargas de *corrente elétrica*. A corrente elétrica pode ser representada por

$$P_{TX} / (4\pi R^2)$$

em que i representa a corrente, dq representa a derivada de carga em relação à derivada dt no tempo. A unidade básica de corrente é o *ampere* (A) e, de acordo com o modelo i, 1 ampere é igual a 1 coulomb por segundo. A unidade de corrente tem este nome devido à homenagem ao físico e matemático francês André Marie Ampère, que também contribuiu significativamente com a ciência quando pesquisou sobre as leis do eletromagnetismo em 1820 de acordo com Johnson, Hilburn e Johnson (1994).

O eletromagnetismo teve uma participação vital no desenvolvimento de sistemas de telecomunicações. A natureza dos campos magnéticos e elétricos é diferente, mas possuem uma interação muito interessante. Sabe-se que cargas estáticas exercem forças umas sobre as outras, mas cargas em movimento também influenciam umas as outras. Em um experimento utilizando dois fios paralelos ligados a circuitos independentes, verificou-se que exercem força um sobre o outro devido ao fluxo de corrente. Estes resultados foram observados por Àmpere no início do século XIX. Esta força evidencia a existência de um campo magnético na região do espaço onde existe o fluxo de corrente elétrica de acordo com Johnson, Hilburn e Johnson (1994).

Vocabulário

1. Coulomb (símbolo C): unidade de carga elétrica do Sistema Internacional de Unidades. É aproximadamente o equivalente a 6.242×10^{18} cargas de prótons (positivas) ou cargas de elétrons (negativas).

2. Volt (símbolo V): unidade de medida da diferença de potencial elétrico do Sistema Internacional de Unidades. O volt é o potencial de transmissão de energia, em Joules, por carga elétrica, em Coulombs, entre dois pontos distintos do espaço.

3. Ampere (símbolo A): unidade de corrente elétrica do Sistema Internacional de Unidades. Esta unidade é equivalente a um Coulomb de carga elétrica por um segundo.

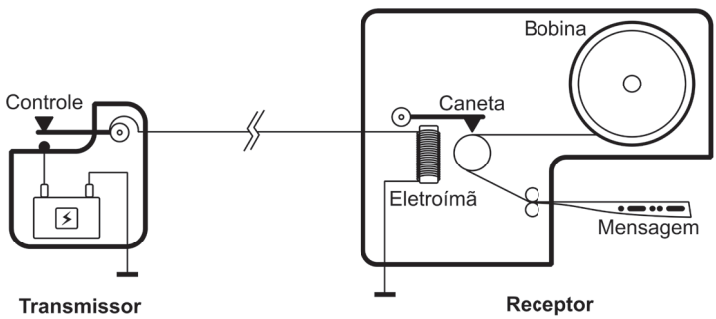
Discutimos até agora as peças-chave de informação para entender um dos primeiros telégrafos funcionais da história. Além disso, o equipamento sozinho não era útil, pois transmitia mensagens de forma indireta, isto é, as mensagens tinham que ser codificadas para serem transmitidas pelo aparelho. Tudo começou em um momento trágico na vida de Samuel Finley Breese Morse, que lançou as fundações para formar os conceitos da telegrafia e o funcionamento de um dos primeiros aparelhos elétricos da história. Por volta de 1825, Morse recebeu de seu pai uma mensagem de que a esposa dele estava muito doente enquanto fazia um trabalho artístico em Nova York, EUA. Um dia após a mensagem, ele recebeu uma carta que detalhava o momento em que a esposa ficou doente e sua morte súbita pouco tempo depois. Com a notícia, Morse abandonou o trabalho e voltou para sua cidade, mas descobriu que sua esposa já havia sido enterrada. Diante da dor e impotência que lhe incomodavam, decidiu dedicar a sua vida a explorar maneiras de conseguir fazer comunicação por longas distâncias.

Em 1832, quando retornava para casa em uma viagem de navio, conheceu Charles Thomas Jackson, um cientista de Boston que era especialista em eletromagnetismo. Morse testemunhou vários experimentos eletromagnéticos em que Jackson trabalhava e isso lhe deu inspiração para desenvolver o conceito de um telégrafo de apenas um fio. Morse abandonou seu lado artístico para se dedicar à sua invenção e codificar uma das primeiras linguagens de telegrafia

do mundo. A patente do telégrafo foi publicada em 20 de junho de 1840, segundo o United States Patent Office. O código Morse se tornou um padrão e foi crucial para comunicação durante conflitos de guerra e até hoje é utilizado por radioamadores.

Assimile

Figura 1.1 | Esquemático simplificado de um telégrafo



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 1.1 apresenta o esquemático básico de um sistema de telegrafia que utiliza apenas um fio. O sistema é separado em uma unidade transmissora e uma receptora. A unidade transmissora possui um botão que fecha o circuito e que está ligado a uma bateria. A unidade receptora possui um eletroímã que exerce força sobre uma haste. Sempre que o botão na unidade transmissora é acionado, uma corrente elétrica circula pelo eletroímã, que produz um campo magnético. A haste, por sua vez, possui uma caneta na ponta que marca uma fita de papel sempre que o eletroímã produz campo magnético. A fita sai do equipamento com velocidade constante e, dependendo da velocidade de acionamento do botão de controle na unidade transmissora, a máquina escreve mensagens codificadas em pontos e traços, de acordo com o United States Patent Office (1840).

Vários anos antes de a patente de Morse ser publicada, dois cientistas alemães haviam construído a primeira máquina telegráfica do mundo. Em 1833, Carl Friedrich Gauss e Wilhelm Weber tinham uma grande necessidade de se comunicar para coordenar seus estudos sobre geomagnetismo. Assim, eles inventaram um dispositivo

que era ligado por um cabo de três quilômetros que saía do laboratório de física de Weber até o observatório de Gauss. Este esforço marcou o primeiro uso prático do telégrafo no mundo. Infelizmente, eles não conseguiram financiamento para levar o projeto para frente e sua importância com o tempo desvaneceu.

Alguns anos após a invenção de Gauss e Weber, os ingleses William Cooke e o professor Charles Wheatstone se interessaram pelo tema da telegrafia. Em 1936, Cooke estava fascinado por telegrafia e contava com a colaboração de Wheatstone, lembrando que Morse já trabalhava com o assunto há tempos. A vantagem de Cooke era possuir riquezas que financiaram seus projetos e, com isso, ele conseguiu montar um pequeno telégrafo elétrico em apenas três semanas. Cooke conseguiu lançar uma versão comercial do equipamento antes de Morse, mesmo tendo se interessado pelo assunto depois. Ao comparar os projetos de Morse e Cooke, nota-se uma característica de construção do telégrafo muito importante que culmina no aumento significativo da distância entre estações de telegrafia. Cooke percebeu que era bem mais eficiente interligar vários circuitos intermediários utilizando baterias pequenas do que ligar apenas um circuito longo utilizando uma bateria grande. Cooke e Wheatstone formaram uma parceria e patentearam na Inglaterra o telégrafo elétrico em maio de 1837. Por um tempo, Morse também encontrou problemas para levar sinais telegráficos a grandes distâncias. Ele contou com a ajuda do Prof. Leonard Gale, da Universidade de Nova York, para introduzir circuitos intermediários ao longo da linha de telegrafia, sendo assim capaz de alcançar distâncias de até 16 km, de acordo com Coe (2006).

Voltamos então ao expresso pônei para descobrir o que aconteceu com a companhia após a chegada do telégrafo. Durante seu curto tempo de operação, o expresso pônei entregou aproximadamente 35 mil cartas entre o leste e o oeste norte-americano. Embora a companhia tenha provado de forma notável que a rota rápida de entrega de cartas era viável, seus fundadores não conseguiram formalizar um contrato para entregar cartas pela rota St. Joseph, Missouri até Sacramento, Califórnia. O contrato foi cedido para outra companhia de serviços de carruagens favorecida por congressistas do sul. Pouco tempo depois da cessão do contrato, houve o começo da Guerra Civil Americana, que causou o cessar de operações naquela rota. Assim, o expresso pônei pôde operar de forma limitada até 26 de

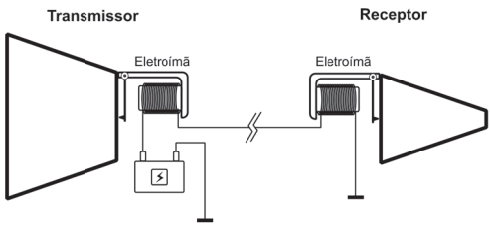
outubro de 1861, quando anunciou seu fechamento dois dias após o começo da implantação do telégrafo transcontinental para cruzar o mapa norte-americano de leste a oeste.

O segredo para transmitir mensagens em códigos por longas distâncias havia sido revelado, mas o desejo de transmitir a voz humana por longa distâncias ainda era latente. Com o surgimento muitos anos antes do telégrafo, o conceito de telefone não era algo novo. Um dispositivo mecânico-acústico conseguia transportar voz humana por canudos ou barbantes esticados. Um exemplo clássico conhecido era o de uma brincadeira de crianças em que se construía um telefone utilizando copos, botões de camisa e um barbante esticado. O barbante preso pelo botão no fundo do copo vibrava quando a pessoa falava. Assim, a vibração se propagava pelo fio esticado e fazia vibrar o fundo do copo da parte oposta da linha. Este sistema tinha utilização limitada devido à sua pobre eficiência e pouco alcance. Isso mudaria com os conhecimentos que estavam sendo desenvolvidos partir dos estudos sobre eletricidade e eletromagnetismo.

Assim, observando a possibilidade de o telefone funcionar com eletricidade, pesquisadores competiram ao longo da história para conseguir publicar a primeira patente deste tipo de máquina revolucionária. Alexander Graham Bell é o mais famoso a ser apontado como responsável pela invenção do telefone, mas há controvérsias com relação a outros autores que também disputam pela autoria do invento. Elisha Gray, por exemplo, foi motivo de embargo à autoria de Bell devido à similaridade entre as duas patentes. Bell, para a fortuna dele, conseguiu defender sua posição de autor da primeira patente do telefone garantindo-lhe vantagem comercial por muitos conforme aponta Coe (2006).

Assimile

Figura 1.2 | Primeiro protótipo do telefone



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 1.2 apresenta o esquemático básico do primeiro protótipo de telefone. O sistema é separado em uma unidade transmissora (bocal) e uma receptora (fone). A unidade transmissora possui uma membrana no fundo do bocal que vibra uma agulha magnética. Quando alguém fala no bocal, o fluxo de campo magnético provoca uma variação de corrente no eletroímã. O eletroímã do receptor recebe a mesma variação de corrente que chega pelo fio ligado ao transmissor. Há uma agulha no receptor ligada a uma membrana que vibra de acordo com a variação de fluxo magnético causado pelo eletroíma, de acordo com o United States Patent Office (1876).

Após o lançamento do telefone no mercado, a demanda por este serviço cresceu continuamente. No começo, o aparelho era interessante para facilitar a comunicação entre o lar e o negócio de empresários. Assim, momentos depois, surgiram as centrais telefônicas com operadores para interligar terminais. A central telefônica era um sistema público de comutação da rede telefônica para estabelecer a ligação entre assinantes. Inicialmente, operadores homens eram contratados para fazer a comutação entre linhas, mas posteriormente foram substituídos por operadoras mulheres que tinham habilidades de comunicação melhores. A interconexão de linhas de telefone fez com que o uso da telefonia fosse mais confortável e servisse como uma ferramenta para múltiplos propósitos. Com isso, os assinantes podiam ligar uns para os outros em lares, negócios ou espaços públicos.

Estes acontecimentos abriram espaço para o nascimento de um novo setor industrial. A demanda pelo serviço aumentou ao ponto de tornar inviável o investimento em operadores para comutação de assinantes. Em 1888, Almon Strowger inventou um comutador de telefone automático eletromecânico. O novo sistema substituiu gradualmente os operadores manuais de comutação ao redor do mundo. Posteriormente, os dispositivos eletrônicos e a tecnologia de computadores deu acesso ao assinante a uma abundância de recursos. Todo avanço tecnológico possibilitou a ampliação do acesso à comunicação por longa distância e hoje se tornou bem amplamente distribuído na sociedade moderna, de acordo com Coe (2006).

Pesquise mais

Até agora apresentamos fatos muito importantes sobre a história das telecomunicações, mas ainda há muito que conhecer, pois a história é compartilhada por muitas pessoas e apenas apontamos aquelas que são chave no texto. Inventores diferentes foram responsáveis pelo desenvolvimento de partes diferentes do telefone. Pesquise mais sobre as origens da tecnologia e sobre a vida dos pesquisadores que contribuíram para a construção completa de um telefone. Além disso, você vai descobrir que o Brasil não estava isolado durante estas descobertas e vai conhecer personagens importantes que participaram destes momentos de descobrimento. Leia os capítulos 1 e 2 da referência Coe (2006).

Sem medo de errar

Anteriormente, havíamos discutido sobre o seu desafio de fazer uma apresentação a respeito da história das telecomunicações em um evento que reunirá profissionais, empresas e academia. Você agora vai trabalhar para organizar e produzir o conteúdo que pretende passar para seus ouvintes.

O ponto crítico de sua apresentação será a teoria. Você não deve desenvolver uma teoria extensa e enfadonha. Assim, você trabalha na apresentação das formulações para que fiquem bastante simples, mas que não percam o sentido no final. Desta forma, a agenda da sua apresentação vai seguir os seguintes passos lógicos:

a) Introdução: contextualiza um momento histórico desde muito antes da tecnologia de telefone e telégrafo. Fala sobre as dificuldades e aponta como estes problemas eram resolvidos utilizando a tecnologia da época.

b) Desenvolvimento: discute sobre as primeiras experiências sobre eletricidade e como elas contribuíram para desenvolver a tecnologia de comunicações. Contextualiza sobre o surgimento do telégrafo e, do telefone. Fala sobre a vida dos responsáveis pelo desenvolvimento destas invenções bem como sobre as curiosidades a respeito das disputas pela autoridade das invenções. De maneira técnica, apresenta diagramas que explicam graficamente o funcionamento dos equipamentos.

c) Finalização: você termina a apresentação discutindo sobre o impacto do desenvolvimento dessa tecnologia na sociedade atual. Você deixa claro que a comunicação por longas distâncias permitiu a união de territórios distantes, a disseminação de informação, a geração de um novo tipo de indústria e, entre outros, contribuiu com a economia facilitando negócios.

Avançando na prática

Comunicando em longas distâncias

Descrição da situação-problema

Jorge viveu em 1835 e era fascinado com as notícias que recebia sobre as novidades tecnológicas amplamente discutidas entre as pessoas, o telégrafo. Ele era uma pessoa curiosa e frequentou a academia para estudar sobre eletricidade e eletromagnetismo. Jorge era amigo de Morse e sempre discutiam sobre como melhorar o funcionamento do telégrafo. Morse insistia que era necessário o uso de uma bateria cada vez maior para aumentar o alcance da transmissão da mensagem. O maior problema é que a degradação do sinal parecia não ser linear com o aumento da distância, isto é, os experimentos mostravam que a perda do sinal era significativa com o aumento de cada metro de fio. Assim, Morse suplicou para Jorge para elaborar alguma solução para este problema a fim de que o alcance fosse melhorado. Redija um texto com base nos princípios que você aprendeu sobre a história das telecomunicações e aspectos básicos sobre a eletricidade para encontrar uma solução para o problema.

Resolução da situação-problema

Jorge já trabalhava com o tema há tempos e tinha bons conhecimentos sobre eletricidade. Ele conhecia as principais características de construção do telégrafo de Morse e tinha alguma ideia sobre o aumento significativo da distância entre estações de telegrafia. Em laboratório, começou a testar suas ideias em protótipos que ele havia construído da versão original de Morse. Jorge percebeu que era bem mais eficiente interligar

vários circuitos intermediários utilizando baterias menores do que as grandes que Morse gostaria de utilizar para aumentar o alcance do sistema. Se o sistema tinha degradação não linear ao longo de cada metro, então seria melhor separar os circuitos em várias seções de circuitos interligados. Com isso, Jorge convenceu Morse a introduzir circuitos intermediários ao longo da linha de telegrafia. A melhoria foi surpreendente, sendo assim capaz de alcançar distâncias de até 16 km.

Faça valer a pena

1. O expresso pônei foi uma tentativa interessante para melhorar a qualidade da entrega de mensagens utilizando os recursos tecnológicos da época. De forma natural, estes recursos eram os mesmos empregados nos métodos de distribuição convencionais de correios e pessoas. A diferença de serviço prestado pela empresa expresso pônei estava principalmente no aumento da carga de trabalho sobre estes mesmos recursos. Assim, se um homem e um cavalo poderiam fazer o trajeto consumindo 20 dias, por que não fazê-lo em 10?

Dado que as entregas eram realizadas por cavaleiros que viajavam ininterruptamente, escolha qual das alterativas está correta sobre o potencial risco do negócio.

a) O mercado daquela época era pequeno e ninguém estava interessado em enviar cartas.

b) O grande gasto com recursos para o negócio torna-o inviável.

c) O negócio não tinha riscos, pois os cavalos e cavaleiros eram confiáveis.

d) O risco do negócio era baixo por ser favorecido por políticos da época.

e) O risco era máximo devido à desvalorização do ouro.

2. A investigação de materiais com propriedades elétricas foi importante para desvendar os segredos da eletricidade. Temos o exemplo da garrafa de Leyden, que foi um dos primeiros dispositivos capazes de armazenar energia elétrica. Este dispositivo foi inventado acidentalmente por Pieter van Musschenbroek, em 1746, e ele estudou suas propriedades.

Anos depois, Alexandro Volta criou a sua bateria química ao empilhar alternadamente discos de zinco e de cobre separados por pedaços de

tecido embebidos em solução de ácido sulfúrico. Esta bateria foi muito importante para revolucionar os sistemas de comunicação por longas distâncias. Esta invenção tornou-se um componente básico para o funcionamento do telefone e do telégrafo.

Tendo como base as informações do enunciado e os conhecimentos que você adquiriu até agora, por que baterias eram utilizadas em telégrafos em vez de garrafas de Leyden?

a) A garrafa de Leyden era perigosa por causar choques mortais.

b) A garrafa de Leyden não era conhecida o suficiente pelos inventores.

c) A garrafa de Leyden possuía corrente muito intensa e poderia queimar os inventos.

d) A garrafa de Leyden armazenava energia insuficiente para os equipamentos.

e) A garrafa de Leyden era mais eficiente que a bateria, mas tinha um custo alto.

3. O primeiro protótipo de telégrafo consiste em um sistema separado em uma unidade transmissora e uma receptora. A unidade transmissora possui um botão que fecha o circuito e que está ligado a uma bateria. Sempre que o botão na unidade transmissora é acionado, uma corrente elétrica circula pelo circuito passando pelo transmissor e o receptor. Uma haste que possui uma caneta na ponta marca uma fita de papel sempre que uma mensagem é transmitida. A fita sai do equipamento com velocidade constante e, dependendo da velocidade de acionamento do botão de controle na unidade transmissora, a máquina escreve mensagens codificadas em pontos e traços.

Considerando seus conhecimentos em circuitos e eletromagnetismo aprendidos nesta seção, identifique nas alternativas abaixo qual o componente principal responsável pelo acionamento da caneta.

a) A bateria no transmissor gera calor e o receptor produz trabalho sobre a caneta.

b) A corrente elétrica estimula a caneta a escrever.

c) Há um eletroímã que exerce força sobre a haste da caneta no receptor.

d) A corrente elétrica encurta o fio, fazendo a haste da caneta se movimentar.

e) A vibração do apertar de botão se propaga até a caneta.

Seção 1.2

Conceitos básicos

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na seção anterior, você pôde compreender questões importantes sobre os fatos históricos que culminaram na evolução dos sistemas de telecomunicações como conhecemos hoje. Começamos nossa discussão relembrando um tempo em que havia necessidade de entrega de mensagens rápidas por longas distâncias, mas não havia recursos tecnológicos para isso. Com isso, vimos como o desenvolvimento dos conhecimentos sobre os fenômenos da eletricidade ajudou os inventores a criar o telégrafo e o telefone. Ao final, concluímos como esse movimento tecnológico revolucionou a história e facilitou o acesso das pessoas à comunicação por longas distâncias.

Nesta nova seção, vamos apresentar os conceitos básicos da telecomunicação. Vamos discutir sobre a importância da eletricidade nas comunicações e aprofundaremos nossos estudos sobre o conceito de informação. Conheceremos os componentes básicos e finalizaremos esta seção apresentando exemplos de tipos de sistemas de telecomunicações. Faremos uma contextualização de outra situação hipotética para dar continuidade aos eventos que se seguiram após sua participação no evento sobre telecomunicações que aconteceu em sua cidade.

Sua participação no evento foi um grande sucesso. A apresentação sobre a história das telecomunicações contou com um grande número de estudantes do segundo grau que ficaram muito animados com a área de telecomunicações. Você conseguiu compartilhar a mesma vibração que tinha durante sua época vivendo como estudante e com certeza contribuiu decisivamente para a futura carreira profissional deles. Além dos estudantes, havia outros participantes que também gostaram bastante da sua apresentação. Por coincidência, o diretor de uma escola profissional também estava participando e pensou que um curso introdutório sobre conceitos básicos de telecomunicação seria ótimo para a instituição dele e lhe faz um convite.

Assim, você pensa um pouco e conclui que essa é uma ótima ideia para desenvolver as próprias habilidades de professor. Visto que o objetivo é um minicurso introdutório, você planeja os assuntos que deseja passar para os estudantes mais focados em conceitos básicos e fundamentais. Assim, você aceita o convite e fica muito animado para superar seu próximo desafio.

Pouco tempo depois, você começa a preparar o conteúdo de seu minicurso. Você imagina que seria uma excelente ideia retomar algumas informações que foram passadas na sua apresentação durante o evento de telecomunicações. Assim, conclui que enfatizar a importância da eletricidade sobre a evolução das comunicações por longas distâncias seria algo interessante de abordar. No entanto você ainda está em dúvida sobre outros pontos que deve focar. Seria interessante abordar mais profundamente o conceito de informação? Quais são os componentes básicos mais interessantes sobre sistemas de comunicação que poderiam ser abordados no minicurso? Quais são os melhores tipos de sistemas que você poderia apresentar? Você deve se preparar para responder mais adiante a essas questões.

Vamos lá?

Não pode faltar

A comunicação é um aspecto fundamental do nosso cotidiano e se manifesta de formas múltiplas que frequentemente passam despercebidas. Nesta seção, discutimos questões mais avançadas sobre o tema de telecomunicações. Começamos estendendo os aspectos da eletricidade que se relacionam com os sistemas de telecomunicações. O desenvolvimento tecnológico proporcionado pelo conhecimento da eletricidade foi crucial para a criação dos sistemas existentes. Em seguida, vamos nos aprofundar no entendimento do conceito de informação, que é um produto abstrato e é compartilhado por "entidades" que utilizam os sistemas de comunicação. O termo "entidade" utilizado aqui descreve algo ou alguém que necessita compartilhar informação. No passado,

esta distinção não existia e somente pessoas tinham necessidade de compartilhar informação. Entretanto, sistemas contemporâneos possuem inteligência artificial e também têm a necessidade de se comunicar uns com os outros. Ao final, apresentaremos os vários tipos de sistemas de telecomunicação e seus componentes básicos. Esse conhecimento é crucial para encontrar soluções eficientes para os problemas que lhe forem apresentados.

Reflita

Quem nasceu primeiro: o homem ou o robô?

Era muito penosa a comunicação entre pessoas de cidades diferentes antes da tecnologia, sendo possível apenas por meios muito lentos. A vida dos cidadãos melhorou bastante após o surgimento das comunicações por longa distância, proporcionando um aumento incrível na entrega de mensagens e uma difusão do acesso a este serviço nunca vista antes. No entanto, a partir de um momento, algo bastante interessante começa a acontecer. As pessoas passam a compartilhar a infraestrutura de comunicação com entidades não humanas. Hoje, a comunicação entre máquinas é algo bastante comum e foi proporcionada pela evolução dos sistemas de automação e inteligência artificial. Um exemplo é o sistema de rede elétrica inteligente que combina a ação de vários agentes inteligentes para fazer o sistema operar de forma mais eficiente. Em um futuro não muito distante, espera-se que motoristas humanos deixem de dirigir para ceder o lugar aos sistemas autônomos que irão utilizar a comunicação para dirigir e, possivelmente, reduzir os casos de acidente de trânsito ao mínimo, de acordo com Weyrich, Schmidt e Ebert (2014).

De acordo com Medeiros (2007), a telecomunicação é conhecida como um ramo da engenharia elétrica que se dedica ao desenvolvimento de projeto, à implantação e à responsabilidade sobre a manutenção dos sistemas de comunicação. A comunicação a distância é o principal objetivo a ser satisfeito dentro deste ramo da engenharia. Os sistemas de comunicação são constituídos principalmente por equipamentos terminais, elétricos ou eletrônicos, que são operados por entidades que desejam compartilhar informação. Vimos na seção anterior informações importantes sobre

o histórico das telecomunicações que nos permitiram entender a relação íntima entre o conhecimento da eletricidade e o consecutivo desenvolvimento dos modernos sistemas de comunicação. A operação de sistemas de comunicação só é possível devido à existência e inter-relação entre os seguintes ramos da eletricidade:

- Engenharia elétrica - é o principal responsável pela geração de energia elétrica, transporte e distribuição. Este ramo lida com o conhecimento de diversos tipos de fonte de energia, dispositivos que transformam energia em trabalho e outras utilidades para o ser humano.
- Engenharia eletrônica - poderia ser considerado o coração dos sistemas de comunicação. Todos os dispositivos para comunicação por longa distância utilizam quase em sua totalidade componentes eletrônicos. A evolução da engenharia eletrônica foi e permanece crucial para difundir e facilitar o acesso às comunicações.
- Engenharia da computação - a computação é fundamental para possibilitar o gerenciamento do tráfego de informações na infraestrutura da rede de dados. Quando o aumento do número de terminais para se comunicarem tornou-se muito complexo, a capacidade de gerenciamento dos computadores tornou-se uma opção muito viável para resolver este problema.

Assimile

É importante que você relembre, ou, se não conhece, assimile, alguns conceitos frequentemente utilizados no campo das comunicações. Começando por componentes elétrico/eletrônicos, os mais comuns são: resistor, indutor e capacitor. Pelo fato de dissiparem energia, são classificados como componentes passivos. Os dispositivos semicondutores são componentes eletrônicos especiais, tais como diodo, transistor e circuito integrado. Estes são classificados como componentes ativos e realizam funções como amplificação e chaveamento. Muitas vezes, circuitos semicondutores complexos são encapsulados em uma forma chamada de circuito integrado (CI). Um CI pode integrar um número grande de componentes discretos.

Outro conceito importante é o da diferença entre sinais analógicos e digitais. Sinais físicos ou de informação podem ser representados

por variações de tensão elétrica no tempo. O sinal analógico tem representação contínua e sua forma tem uma relação mais direta com o sinal físico. A captação/reprodução analógica é simples e não necessita de um processo de conversão complexo. Já o sinal digital é uma versão codificada do sinal original em símbolos de um e zero. O processo de conversão é mais complexo, exigindo circuitos digitais especiais. A vantagem do sinal digital em relação ao analógico é a robustez contra ruído, de acordo com Medeiros (2007).

Agora, podemos nos aprofundar no entendimento do conceito de informação. Como dissemos anteriormente, a informação é um produto abstrato e é compartilhado por "entidades" que utilizam os sistemas de comunicação. Na verdade, a ideia de informação vai além e possui inclusive um ramo da ciência dedicado a estudar suas propriedades: a teoria da informação. O primeiro estudioso a estabelecer as bases para a teoria da informação foi Claude Shannon e os aperfeiçoamentos feitos por outros pesquisadores foram uma resposta definitiva à necessidade de projetar sistemas de comunicação eficientes e confiáveis. Claude Shannon dedicou-se a resolver o problema sobre qual era a melhor maneira para um emissor codificar a informação e transmiti-la a um receptor. Ele chegou à conclusão de que uma comunicação eficiente de uma fonte para um usuário final é obtida por meio da codificação da fonte. Uma comunicação confiável por um canal com ruído é conseguida pela codificação que possibilita o controle de erros, conforme aponta Cover (2006).

Muitas vezes, sistemas de comunicação, sejam fontes de informação, sejam canais físicos, não revelam pistas sobre como melhorar a transmissão, e o uso de modelagem matemática pode prover resposta para questões fundamentais. Por exemplo, muitas vezes pessoas falam de forma redundante: "subir para cima" ou "descer para baixo". Além de representar o uso incorreto da linguagem formal, revela que muitas vezes se transmite mais que o necessário, ou seja, a informação pode ser redundante. Isso nos faz pensar se existe uma forma irredutível abaixo da qual um sinal não pode ser comprimido e é uma questão que a teoria da informação investiga. Além disso, no processo de transmissão de mensagem, a informação é frequentemente corrompida por um processo aleatório

que chamamos de ruído. Assim, outra questão é conhecer a taxa de transmissão para uma comunicação confiável por meio de um canal ruidoso. Estas questões são respondidas pelo conceito de entropia de uma fonte e pela capacidade de um canal, de acordo com Haykin (2004).

A entropia é uma medida amplamente utilizada em sistemas de comunicação para medir o grau médio de incerteza em relação às fontes de informação. Essa medida possibilita conhecer a quantidade de informação que transita em um sistema. Considerando que haja certa ocorrência da transmissão de mensagens, a entropia evidencia que quanto mais incerto for o resultado desta ocorrência, maior é a informação que se obtém ao observá-la. A noção de entropia parece ser bastante contraintuitiva, mas tem fundamento muito importante. Já a capacidade é definida como a habilidade intrínseca de um canal para transportar informação. A capacidade máxima de um canal é influenciada pelas características de ruído do canal. Quando se relaciona o conceito de entropia e capacidade de canal, um resultado notável pode ser observado. Se a entropia da fonte for menor do que a capacidade do canal, então uma comunicação isenta de erros será possível. Esta é uma das conclusões mais importantes da teoria da informação, segundo Haykin (2004).

Exemplificando

Para conseguir uma comunicação isenta de erros, é necessário utilizar codificação de fonte e de canal. Começa-se pela codificação da fonte de informação reduzindo-se a redundância dos dados, isto é, encontrar uma forma irredutível abaixo da qual um sinal não pode ser comprimido. Em seguida, utiliza-se a codificação de canal que vai aumentar a redundância para proteger a informação que está encapsulada no código. Quando os dados atravessam o canal físico, o qual contém ruído, parte da informação recebida está corrompida. Devido à aplicação de codificação de canal, é possível corrigir os dados que foram corrompidos. Um processo para decodificar o código de canal e de fonte é aplicado e a informação original é recuperada, conforme aponta Cover (2006).

A partir de agora, poderemos apresentar e discutir sobre os componentes básicos de um sistema de comunicação. De maneira fundamental, temos que a comunicação da informação deve ser transmitida de um ponto a outro por um conjunto de processos. O

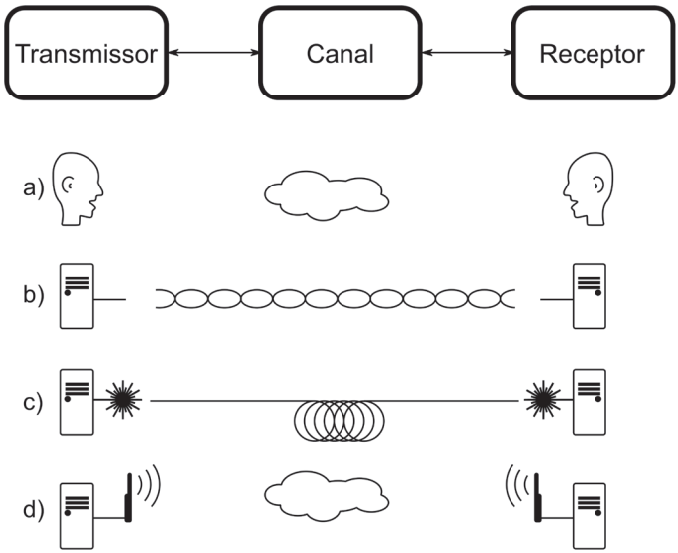
primeiro passo é o da geração de um sinal de mensagem, que pode ser voz, música, imagem ou texto. Em seguida, esse sinal é descrito por meio de um conjunto de símbolos que podem ser, dependendo da tecnologia, elétricos, visuais ou auditivos. Estes símbolos passam por uma etapa de codificação em uma forma apropriada ao meio de transmissão físico. Uma vez que os símbolos estão codificados adequadamente, eles passam por um meio físico até o ponto de recepção desejado. Os símbolos são decodificados e o sinal é recuperado; este é uma cópia quase fiel do sinal original apesar da degradação causado pelo meio físico durante a propagação, segundo Haykin(2004).

Todo processo básico de comunicação pode ser minimizado em um diagrama de blocos contendo três elementos principais: transmissor, canal e receptor. A Figura 1.3 ilustra um diagrama de sistema de comunicações e apresenta exemplos. O canal sempre se encontra no meio, já o transmissor e o receptor sempre se encontram em pontas opostas. O objetivo do transmissor é transformar o sinal de mensagem produzido pela fonte de informação em uma forma adequada que permita o fluxo natural pelo canal físico. Entretanto, pelo fato de o canal não ser ideal e perfeito, o sinal se degrada ao longo de sua jornada. As imperfeições do canal podem ser devido à interferência (que surge de outras fontes) ou ruído que se somam ao sinal propagado. Ao chegar ao receptor, este tem a tarefa de operar sobre o sinal de forma a reconstruir uma cópia do sinal original que foi inicialmente transmitido, como aponta Haykin (2004).

O modo básico de comunicação não se restringe à comunicação em dois pontos distantes. Na verdade existem dois: radiodifusão e comunicação ponto a ponto. A radiodifusão envolve a utilização de uma transmissora central que opera com alta potência em uma área onde existem vários receptores espalhados. Nesta configuração, geralmente o transmissor é mais caro por ser mais elaborado e o receptor é mais simples para que seja acessível para os usuários. Neste modo, o sinal flui apenas em uma direção. O exemplo que conhecemos é das rádios AM, FM e televisão. Já na comunicação ponto a ponto, o processo se estabelece por enlaces. Neste modo, é muito comum que os pontos de comunicação sejam transmissor e receptor ao mesmo tempo. Assim, o fluxo de comunicação bidirecional pode ser estabelecido. Outro exemplo comum são os rádios *push to talk* (PPT), geralmente utilizados por policiais e bombeiros, de acordo com Haykin (2004).

Assimile

Figura 1.3 | Tipos de sistemas de telecomunicação



Esta figura mostra como um sistema de comunicação pode ser particionado e alguns exemplos de sistemas reais são apresentados. Note que o meio físico, representado pelo canal, é geralmente diferente e que as interfaces também são de tipos diferentes, por exemplo, a antena ou o *laser* da fibra óptica. A seguir vamos discutir detalhes sobre cada um deles, de acordo com Haykin (2004).

O meio de comunicação mais comum e primário é a fala. Ele está representado na Figura 1.3 pelo item "a". Assim como qualquer sistema de comunicação, também pode ser particionado em transmissor, canal e receptor. As pessoas utilizam comunicação verbal, isto é, produzem sons, que estão relacionados com as ideias que desejam transmitir. As cordas vocais existentes no aparelho vocal vibram e produzem ondas sonoras que se propagam pelo ar. O aparelho vocal pode produzir diversos tipos de sons. No momento da fala, um sistema complexo atua sobre a frequência das cordas vocais. A boca e o nariz também fazem parte do mesmo sistema e atuam no conteúdo espectral do som funcionando como filtros

equalizadores. O som da fala atinge o ouvido humano e faz vibrar uma membrana delicada. Esta membrana transmite a vibração para elementos sensoriais através de um conjunto de ossos minúsculos. Os sinais vocais são interpretados pelo cérebro e a pessoa entende a mensagem, de acordo com Haykin (2004).

O item "b" da Figura 1.3 é um sistema que utiliza um fio metálico para a propagação do sinal que se deseja transmitir. A exploração das propriedades da eletricidade foi uma das primeiras tentativas bem-sucedidas da história para a comunicação por longas distâncias, conforme fora discutido na Seção 1.1. O telégrafo e o telefone utilizaram as propriedades elétricas para codificar mensagens e reproduzir sons através de fios. Logo depois, sistemas elétricos podiam comutar ligação entre vários assinantes, tornando o acesso ao sistema mais conveniente. Foi o tipo de sistema que marcou o nascimento da indústria das telecomunicações, conectando regiões distantes e facilitando negócios, de acordo com Haykin (2004).

Em um dado momento, descobriu-se que a comunicação por longas distâncias também era eficiente utilizando-se a luz. Este sistema é representado na Figura 1.3 pelo item "c". Para a comunicação, incide-se luz de laser em uma das pontas de uma fibra óptica, que funciona como meio físico de propagação. A fibra é um filamento flexível de pequeno diâmetro e construído com material plástico ou vidro que tem um formato especial para conduzir a luz com um rendimento elevado. A fibra óptica tem uma grande vantagem em relação ao par metálico por ser um material que não sofre interferências eletromagnéticas. Devido ao seu custo e tamanho reduzido, a fibra ocupa menos espaço, resultando em um aumento da densidade de tráfego de informação por um preço menor, conforme aponta Haykin (2004).

O rádio é um meio de comunicação por longa distância muito importante. Este sistema é representado na Figura 1.3 pelo item "d", e o meio de propagação físico é apenas o espaço. As ondas eletromagnéticas têm a interessante propriedade de poder se propagar pelo espaço físico material e imaterial. Os transmissores de rádio exploram as propriedades destas ondas para transmitir mensagens por grandes distâncias, por exemplo, variando a intensidade da onda eletromagnética que está sendo transmitida. Este é um processo chamado de modulação, que pode ser a variação da amplitude, frequência ou fase da onda eletromagnética. A mensagem transmitida deixa o aparelho transmissor na forma de onda eletromagnética pela

antena e se propaga pelo espaço. Quando a onda atinge o receptor, um esquema semelhante ao do transmissor realiza a função inversa. A função inversa é chamada de demodulação, que recompõe a mensagem que foi transportada pela onda eletromagnética que atingiu a antena. A grande vantagem do rádio é não precisar de meios físicos para transmitir mensagens, necessitando apenas do transmissor, receptor e o espaço (canal). Por outro lado, o espaço físico é um recurso limitado e este deve ser compartilhado pelos usuários que participam do sistema. Ainda assim, o problema é atenuado por tecnologias que podem separar assinantes de forma bem eficiente, com técnicas que exploram o espaço, a frequência ou o tempo, ainda de acordo com Haykin (2004).

Pesquise mais

Apresentamos nesta seção informações interessantes sobre conceitos básicos dos sistemas de telecomunicações. Agora é o momento de pesquisar mais a fundo e conhecer melhor os vários sistemas de comunicação apresentados até aqui, o que também o ajudará a absorver melhor o conteúdo que você estudou até agora. A internet das coisas é um tema atual e lida com o fenômeno crescente de máquinas que se comunicam entre si. Leia o primeiro capítulo da referência Javed (2016) para você aprender maneiras práticas sobre este ramo da eletrônica e das telecomunicações.

Sem medo de errar

Você tem agora uma responsabilidade ainda maior que antes. Desta vez, você é chamado para oferecer um curso introdutório sobre conceitos básicos de telecomunicação. Esta será uma grande oportunidade para desenvolver as próprias habilidades de professor. Visto que o seu principal objetivo é idealizar um minicurso introdutório, você escolhe os assuntos mais focados em conceitos básicos e fundamentais.

Pouco tempo depois, você começa a preparar o conteúdo de seu minicurso. Você imagina que seria uma excelente ideia retomar algumas informações que foram passadas na sua apresentação durante o evento de telecomunicações. Depois de terminar a parte introdutória que resgatou de sua última apresentação durante o evento de telecomunicações, você se concentra em discutir

questões filosóficas sobre o impacto da evolução do conhecimento da eletricidade e da computação na sociedade atual. Você vai discutir com os estudantes a forma como as comunicações se modificaram, incluindo elementos não humanos que necessitam de comunicação.

Em seguida, seu foco se orienta para um estudo mais aprofundado do conceito fundamental da informação. Você começa definindo alguns conceitos básicos sobre o significado da informação e apresenta um ramo da ciência dedicado ao estudo da teoria da informação. Nesta parte do curso, você inclui aspectos importantes sobre os requisitos necessários para se realizar uma transmissão confiável e livre de erros. Sendo este um problema muito abstrato, você consegue dar exemplos práticos para que o assunto fique mais bem entendido.

Depois você entra na parte técnica do assunto ao apresentar os elementos básicos dos sistemas de comunicação. Você conclui que deve explicar sobre cada etapa do processo pelo qual a mensagem que se deseja transmitir deve percorrer. Em cada etapa, você aponta detalhes necessários para que a mensagem possa ser transmitida. Você ainda cria diagramas para representar os diversos sistemas de comunicação existentes. A partir dos diagramas, você parte para a apresentação dos exemplos de cada tipo de sistema de comunicação e dá detalhes sobre cada um deles.

Avançando na prática

Solução digital

Descrição da situação-problema

Augusto é dono de uma gravadora de música chamada Gravemaster. A Gravemaster foi uma empresa que aproveitou os momentos tecnológicos para se atualizar e não ficar em desvantagem em relação à concorrência. Foi essa visão que salvou a empresa no momento em que discos de vinil e fitas K7 caíam em desuso e o CD digital começava a se expandir no mercado. Os CDs digitais eram ótimas ferramentas para proteger os direitos autorais, mas o compartilhamento de conteúdo protegido ficou mais acessível e fácil com a chegada da internet. Augusto, que estava em um beco sem saída, não encontra solução além de enveredar

pelos caminhos desconhecidos desta nova tendência. Você, que é especialista em sistemas digitais, pode ajudar Augusto a encontrar uma solução. Redija um texto com base nos princípios que você aprendeu sobre a teoria da informação, a fim de encontrar uma maneira de transmitir dados de maneira eficiente.

Resolução da situação-problema

Sabe-se que a pirataria é um problema complicado e que as autoridades agem continuamente para combatê-la. Assim, Augusto não pode fazer muita coisa para tentar solucionar esta questão e salvar a Gravemaster. A solução seria mudar de nicho e transformar a gravadora em uma rádio digital. Sabemos que o sinal analógico carrega ruído, o qual é dificilmente combatido e exige filtros complexos. Uma vez no domínio digital, estes ruídos são naturalmente combatidos. Nesta época, os rádios digitais se tornaram um padrão acessível para a população. Para ouvintes exigentes, esta é uma ótima opção para obter música com alta qualidade de som. A Gravemaster é rebatizada como Musimaster, ganha muitos ouvintes devido à qualidade do sinal digital e recupera perdas ocasionadas pelo problema da pirataria.

Faça valer a pena

1. Sabemos que no passado a comunicação entre pessoas de cidades diferentes era muito penosa e os meios para proporcionar este serviço eram bem precários. A vida dos cidadãos melhorou bastante após o surgimento das comunicações por longa distância, pois foi possível enviar mensagens quase instantâneas para outra cidade.

Baseado no que você aprendeu ao ler o texto, qual foi o conhecimento fundamental que permitiu o desenvolvimento da telecomunicação?

a) O conhecimento do satélite.

b) O conhecimento da eletricidade.

c) O conhecimento sobre os fenômenos naturais.

d) O conhecimento do telefone.

e) O conhecimento do celular.

2. A eletrônica pode ser considerada como o coração dos sistemas de comunicação. Todos os dispositivos para comunicação por longa distância utilizam quase em sua totalidade componentes eletrônicos. A evolução da engenharia eletrônica foi e permanece crucial para difundir e facilitar o acesso às comunicações.

De acordo com o que você aprendeu sobre a eletrônica, escolha entre as alternativas uma aplicação deste ramo em sistemas reais.

a) A eletrônica contribui pouco com a telecomunicação.

b) Facilita a entrega de mensagens por correio.

c) Produz energia a partir de elétrons.

d) Pode ser utilizada para automatizar circuitos de comutação.

e) A corrente eletrônica resfria circuitos.

3. A telecomunicação é bastante dependente da eletrônica, e seus componentes elétrico/eletrônicos básicos mais comuns são: resistor, indutor e capacitor. Pelo fato de dissiparem energia, são classificados como componentes passivos. Os dispositivos semicondutores são componentes eletrônicos especiais tais como diodo, transistor e circuito integrado. Muitas vezes circuitos semicondutores complexos são encapsulados em uma forma chamada de circuito integrado (CI). Um CI pode integrar um número grande de componentes discretos.

Baseado no texto acima e no seu entendimento sobre a importância da eletrônica para a telecomunicação, leia os seguintes enunciados:

I- Circuitos integrados são importantes para diminuir o tamanho físico dos sistemas.

II- Capacitores e indutores são componentes que podem armazenar energia.

III- Componentes passivos podem ser utilizados para amplificação de sinais.

Marque a alternativa que possui somente sentenças corretas.

a) Somente I.

b) Somente II.

c) II e III.

d) I e II.

e) Somente III.

Seção 1.3

Contexto atual do cenário das telecomunicações

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na seção anterior, você conheceu os conceitos primários da telecomunicação, entendendo a relação entre a eletricidade e a comunicação. Você descobriu que há uma área do conhecimento dedicada ao estudo do conceito de informação e tem um conhecimento mais aprofundado sobre o assunto. Você agora entende que toda mensagem redundante pode ser reduzida e aumentar o tamanho de uma mensagem utilizando um código pode torná-la mais robusta à influência do ruído. Além disso, conheceu os componentes básicos necessários para formar um sistema de comunicação e lhe foram apresentados alguns tipos de sistemas.

Nesta nova seção, vamos conhecer o contexto histórico das telecomunicações no Brasil. Vamos apresentar como a tecnologia de telecomunicação chegou ao nosso país e como se desenvolveu ao longo dos anos. Durante a apresentação, aproveitamos para mencionar vários aspectos do panorama brasileiro e sua relação com agentes do exterior. Ao final do contexto histórico, passamos a discutir sobre as interfaces das políticas públicas, explicitando sua importância para garantir acesso aos sistemas de comunicação e informação pela sociedade. Esta seção é finalizada com uma breve discussão sobre os desafios e as oportunidades do setor de telecomunicações no Brasil que possui características próprias adquiridas durante sua evolução.

O minicurso que você ministrou foi um grande sucesso, com a adesão de vários alunos que tiveram notas excelentes. A ideia do curso foi boa para melhorar a sua comunicação com o público e se sentir mais confiante. Algum tempo depois, você recebe uma ligação de uma secretária de Brasília. Você não contava com uma audiência tão diversificada no dia da sua apresentação, durante o evento de telecomunicações e agora é convidado por um grupo de políticos para dar uma palestra em Brasília e para falar sobre o contexto atual do cenário das telecomunicações. Este grupo está preocupado com a votação de algumas leis que estão por vir e eles sabem que muitas vezes os cargos públicos são ocupados por leigos e é importante que

eles sejam instruídos para exercer melhor suas atividades públicas. Sua tarefa agora será instruir sua audiência com linguagem direta e simples. Assim, você aceita o convite e parte para o próximo desafio.

Quase que instantaneamente, você começa a preparar o conteúdo da apresentação. Visto que o objetivo é uma apresentação mais específica, você decide voltar ao seu primeiro modelo de apresentação, por contexto histórico. No contexto histórico do Brasil, você começa a partir do momento em que parou na sua primeira apresentação. Além disso, você separa o contexto em períodos de transição, explicando os aspectos mais importantes entre cada um deles, mas ainda tem dúvidas sobre como vai abordar o panorama brasileiro. Assim, você começa a se questionar: como relacionar o contexto brasileiro com os acontecimentos externos da mesma época? Será possível explicitar de forma clara como as interfaces das políticas públicas funcionam? E com relação aos desafios e oportunidades do setor de telecomunicações no Brasil, eles têm ideia do que está por vir? Estas são as informações que você deve passar para sua audiência e deve estar preparado para responder às diversas dúvidas que possam surgir.

Não pode faltar

Na Seção 1.1, fechamos o assunto da tecnologia de comunicação no ano de 1888. Algum tempo depois, estas tecnologias também chegaram ao Brasil. Inicialmente, o desenvolvimento e a expansão da infraestrutura foram estabelecidos por iniciativa privada na qual participaram empreendedores nacionais e internacionais. Nesta época, a configuração organizativa caracterizava-se pela extrema fragmentação do poder de outorgar concessões, na forma de exploração de serviços, nas diretrizes e metas de ampliação ou cobertura territorial dos serviços e no estabelecimento de tarifas. Desta forma, para um Brasil que conquistara independência quase recentemente, isso era uma grande oportunidade de mercado para companhias internacionais já estabelecidas no setor de infraestrutura para sistemas de comunicação. Além disso, as facilidades econômicas proporcionadas pela telecomunicação conhecidas pelos homens de negócio alimentavam um crescimento mundial da indústria das comunicações. O estabelecimento de um dos primeiros sistemas

de comunicação do Brasil se deveu pela iniciativa do empreendedor Irineu Evangelista de Sousa. Em 1872, Irineu teve o privilégio de explorar as comunicações telegráficas por 20 anos, lançando a comunicação por cabo submarino entre o Brasil e a Europa, de acordo com Herce (2015). Até o fim do século XIX e metade do século XX, os sistemas de comunicação foram estabelecidos gradualmente pelas capitais do país ligando as várias regiões remotas e de difícil acesso, conforme aponta Nascimento (2008).

Reflita

Você já imaginou se grande parte das tecnologias de comunicação tivesse nascido no Brasil? Reflita sobre essa situação.

Durante o século XX, o modelo privado de gestão permaneceu até o fim dos anos de 1960. Havia vários organismos que controlavam a exploração sobre a comercialização dos sistemas de comunicação. A Companhia Telefônica Brasileira (CTB), subsidiária da *Canadian Traction Light and Power Company*, possuía dois terços dos assinantes no Brasil em 1957. A maior parte se concentrava nas áreas dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Havia também a Companhia Telefônica Nacional (CTN), filial da *International Telephone and Telegraph*, no Rio Grande do Sul. Em Minas Gerais e no Espírito Santo havia as subsidiárias da CTB. Nesta época, existiam aproximadamente 900 concessionárias municipais. Apesar de servir o propósito inicial de expandir o acesso a sistemas de comunicação, sofria com a ausência de coordenação e de objetivos comuns de desenvolvimento e ampliação dos serviços. Neste modelo, empresas privadas e públicas prestavam serviços de telecomunicação no Brasil e a prioridade era atender áreas de maior poder econômico, político e social. Como resultado, gerou-se uma situação de extrema precariedade que se desviava das diretrizes governamentais de modernização da infraestrutura. O desenvolvimento do país era dificultado, pois havia diferenças regionais na existência e na prestação de serviços, conforme aponta Nascimento (2008).

Após o início da década de 1960, houve um movimento estratégico importante para se mudar o cenário das comunicações.

Nascimento (2008) afirma que até os anos de 1950 não existia uma preocupação para se criar políticas públicas que viabilizassem um maior controle pela regulamentação e organização do setor. Desta forma, no início dos anos de 1960, a política básica para as telecomunicações constituía-se em, primeiro, criar o Conselho Nacional de Telecomunicações (CNT), subordinado à Presidência da República, com as atribuições de coordenar, supervisionar e regulamentar o setor de telecomunicações; segundo, autorizar a criação da Empresa Brasileira de Telecomunicações S/A (Embratel) que tinha a finalidade de tratar dos sistemas de comunicação de longa distância nas principais cidades do país – a primeira intervenção governamental direta se deveu pela Embratel, que inicialmente operava parte dos serviços de ligação internacional –; terceiro, instituir o Fundo Nacional de Telecomunicações (FNT), que proporcionava o financiamento das atividades da Embratel. A aprovação do Código Brasileiro de Telecomunicações (1962) forneceu as bases para ações normativas e executivas do Estado. Posteriormente, em 1967, o Ministério das Comunicações (Minicom) é formado, como aponta Nascimento (2008).

Dentro deste contexto, a interconexão urbana no início dos anos de 1970 ainda não tinha bom nível de qualidade tecnológica. Este problema foi contornado pela criação de uma sociedade de economia mista. Em 1972, é autorizada a criação da Telecomunicações Brasileiras S/A (Telebras) que tinha objetivo de operar o Sistema Nacional de Telecomunicações e estava sob responsabilidade do Minicom. O principal objetivo do governo era adquirir todas as companhias telefônicas existentes e realizar a integração do seu sistema em cada estado por uma empresa-polo (por exemplo: Telesp em São Paulo, Telerj no Rio de Janeiro, Telemig em Minas Gerais e assim por diante). Houve um salto de 1,4 milhões para 5 milhões de terminais instalados no país, marcando este período com uma expansão expressiva. Na mesma época, a Telebras implantou o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD) em Campinas, São Paulo, para o desenvolvimento tecnológico do setor. No CPqD, foi estabelecido uma política industrial visando à consolidação de um parque brasileiro voltado à demanda da Embratel. Como resultado desta época, podemos citar alguns dos principais acontecimentos, de acordo com Nascimento (2008).

- A Telebras tornou-se responsável pela operação de mais de 95% dos terminais telefônicos em serviço pela consolidação do processo de incorporação das companhias telefônicas. No final, apenas cinco empresas não pertenciam ao sistema da Telebras.
- Os satélites de comunicação BrasilSat-I (1985) e BrasilSat-II (1986) foram lançados. Estes lançamentos foram importantes para conseguir integração total do território brasileiro e levaram sinais de telefonia, telegrafia e televisão a todas as regiões do país.
- A integração por satélites proporcionou a possibilidade de desenvolver o Programa de Popularização e Interiorização das Telecomunicações. O objetivo do programa era a proporcionar maior integração entre cidadãos e suas comunidades ao levar as facilidades de comunicações para regiões muito isoladas.

Assimile

A década de 1970 foi o período em que o país mais se beneficiou com a explosão tecnológica das telecomunicações. A Telebras passou a ser responsável pela operação da infraestrutura do país. Centros de pesquisa foram responsáveis por criar sistemas automáticos de comutação e o desenvolvimento dos primeiros satélites, que resultariam na integração territorial mais definitiva do Brasil. Todo este esforço do Estado visava atender aos critérios do Programa de Popularização e Interiorização das Telecomunicações.

Desta forma, o Sistema Nacional de Telecomunicações foi forjado por um esforço do programa de Integração Nacional e Social em construir uma infraestrutura básica que serviria para abrir o caminho do desenvolvimento e da integração nacional das diversas regiões do país, especialmente, as de menor poder econômico, político e social. O corpo desta estrutura de monopólio público foi importante para integrar o Brasil com todas as nações do mundo pela disponibilização de redes de transporte e de serviços. Desta forma, as empresas estatais e os órgãos públicos tinham o papel de instrumentos efetivos de política industrial e foram os principais fatores no desenvolvimento brasileiro que forneceram insumos básicos ao setor privado. Assim, as regras de concorrência e de acumulação do sistema econômico

eram definidas pelo estado através de incentivos, subsídios, controle de preços e controle de custos, como aponta Nascimento (2008).

Por um curto período de tempo, a estrutura estatal de funcionamento se mostrou eficiente e inovadora de uma forma geral; conseguiu difundir e universalizar serviços e de certa forma reduzir custos. Com o monopólio estatal estabelecido, houve uma intensa intervenção reguladora até a década de 1980. O estado eliminava a competição, estabelecendo preços em alguns setores e também interferia em investimentos, preços e salários. Isso levou a uma fragilidade do parque industrial, que estava cada vez mais exposto à concorrência externa, e investimentos em modernização para manter ou ampliar a competitividade eram urgentes. Assim, desde o fim dos anos de 1980, abriu-se espaço para uma redefinição do papel do Estado em relação à atividade econômica das telecomunicações. Neste momento, discutiu-se a possibilidade de abertura comercial, privatização de empresas e a desregulamentação de algumas atividades econômicas. O panorama global tornou-se muito diferente, e a estratégia que as empresas nacionais deveriam seguir precisaria incluir também uma visão global. As mudanças ocorridas que culminaram no novo cenário das telecomunicações podem se resumir nas seguintes ações, de acordo com Nascimento (2008):

- O Código Brasileiro de Telecomunicações (CBT) é substituído pela Lei Geral de Telecomunicações (LGT) em 1962.
- A privatização do sistema da Telebras.
- Permissão da entrada da iniciativa privada regida por um modelo competitivo.
- Trocar a função do Estado provedor para uma agência reguladora.
- Controlar e limitar a participação do capital estrangeiro.
- Manter a participação estatal minoritária nas operadoras.

Assimile

Além da explosão tecnológica da década de 1970, a mudança da legislação iria propiciar a garantia da difusão social das telecomunicações e melhorar a qualidade da infraestrutura ao longo da década de 1980. O novo Código Brasileiro de Telecomunicações iria regular as regras do mercado. O estado seria responsável apenas por regular a atividade

das empresas visando atender ao interesse da sociedade e estimular a competitividade entre as operadoras. Além disso, ao contrário do passado, manteria a participação estatal de ativos minoritária nas operadoras.

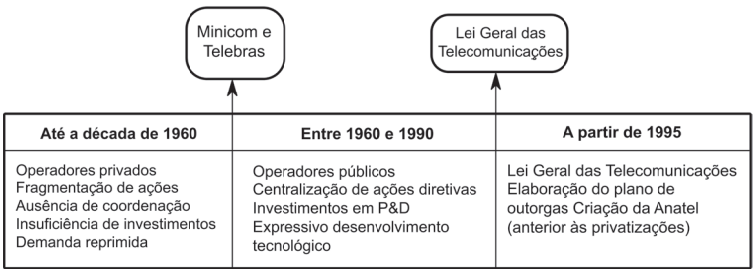
No ano de 1995, houve uma grande mudança sobre a política de abertura das telecomunicações que tinha o objetivo de flexibilizar todos os novos serviços. A participação do grande capital nacional nas telecomunicações foi possível devido às ações do Ministério das Comunicações em um processo que culminou na mudança da legislação das telecomunicações em vigor e a consequente privatização do setor. O modelo adotado pelo Estado brasileiro consistiu em uma ação indireta sobre a atividade econômica. O Estado deixa de realizar tarefas diretamente e age de forma a apenas regular e normatizar este tipo de atividade. O foco passa a ser a implantação e o estímulo à livre concorrência nos serviços públicos, que são agora delegados à iniciativa privada, que está sob supervisão do Estado. Desta forma, estas ações tendem a garantir o direito de escolha e bem-estar do consumidor, que é provido por um Estado regulador. O controle preventivo e de repressão às infrações da ordem econômica é outro aspecto do novo modelo de Estado no quesito de defesa da concorrência. A criação do Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Cade) tem a função de reprimir prejuízos e infrações causados à ordem econômica e agir preventivamente em decisões sobre processos de fusão entre empresas concorrentes, conforme aponta Nascimento (2008).

O Sistema de Telecomunicações Brasileiro foi privatizado em maio de 1995 e rapidamente desnacionalizado. Nesta época, o monopólio estatal começou a desvanecer e deixou de controlar o sistema Telebras. A Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e criada em 1997 e ficou responsável pela nova regulamentação das telecomunicações. A agência foi elaborada com o objetivo de promover o surgimento de novas empresas de âmbito local, regional, nacional. O principal objetivo era possibilitar o início de uma efetiva competição no mercado das telecomunicações com as empresas concessionárias estatais antigas e que posteriormente passaram a

ser controladas por agentes privados. Logo, pode se entender que a agência tinha a função mediadora ao estabelecer regras para administrar as relações entre o Estado, os prestadores dos serviços públicos e o cidadão, como aponta Nascimento (2008).

Assimile

Figura 1.4 | Marcos temporais importantes na evolução das telecomunicações do Brasil



Fonte: Nascimento (2008).

Desde 1997, data de sua criação, a Anatel passou frequentemente por mudanças em sua estrutura organizacional. Uma das últimas mudanças na regulamentação da agência ocorreu em 2013, quando sua estrutura administrativa foi alterada para se adequar ao cenário de convergência tecnológica. A alteração teve o objetivo de melhorar a eficiência da agência em regular e fiscalizar os serviços de telecomunicações. Assim como toda organização importante, a procura por melhores resultados é fundamental para que as organizações se mantenham competitivas. Esta necessidade é resultado do surgimento de regras advindas dos processos de internacionalização e do crescente nível de exigência proporcionado pelos novos perfis de consumidores. Desse modo, a Anatel atua de forma ideológica apostando em um conjunto próprio de características – missão, visão e valores –definido a seguir.

Missão: Regular o setor de telecomunicações para contribuir com o desenvolvimento do Brasil.

Visão: Ser reconhecida como instituição de excelência que promove um ambiente favorável para as comunicações no Brasil, em benefício da sociedade brasileira.

Valores: Capacitação institucional, segurança regulatória, transparência e participação social, conforme aponta a Anatel (2017).

Exemplificando

A Anatel tem um papel importante na sociedade e tem função de ser uma interface para políticas públicas. Desta forma, várias podem ser as formas de atuação do Estado no contexto da regulação. Veja a seguir uma lista de exemplos, citados por Nascimento (2008).

- O setor privado que atuar de forma irregular estará sujeito à aplicação de multas e de sanções.
- A agência auxilia o Estado na implementação de atitudes de interesse dos cidadãos.
- Proporciona desenvolvimento econômico com as ações que o Estado desempenha para atrair novos investimentos do setor privado.
- Faz a mediação entre o setor público e o privado a fim de resolver conflitos e ambiguidades entre os prestadores de serviços e o cidadão.

Outro aspecto importante a ser discutido é o das interfaces das políticas públicas que são necessárias para assegurar determinado direito de cidadania, de forma difusa ou para determinado segmento social, cultural, étnico ou econômico. As políticas públicas podem ser conjuntos de programas, ações e atividades desenvolvidas pelo Estado direta ou indiretamente, com a participação de entes públicos ou privados. As principais interfaces das políticas públicas são mecanismos de financiamento, investimentos e parcerias entre esferas do governo, de acordo com Loural (2010).

Os mecanismos de financiamento do setor de telecomunicações são fundamentais para fomentar a inovação da tecnologia. No fim da década de 1980, a capacidade de investimento do Sistema Telebras era bastante restringida pelo controle do governo sobre as empresas estatais. O objetivo era manter o endividamento em níveis seguros pela restrição do financiamento. Observada a fragilidade das telecomunicações em relação à concorrência global, uma forte elevação tarifária e desbloqueio das restrições ao investimento da

Telebras visou revitalizar as telecomunicações brasileiras antes do processo de desestatização. Após a desestatização do Sistema Telebras, em 1998, ocorreram mudanças nos investimentos do setor, tanto qualitativa (modelo), quanto quantitativa (volume). O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) tornou-se acionista da Telemar (atual Oi), além de coordenar o processo de privatização do Sistema Telebras. O banco fez o papel de financiador do setor de telecomunicações, contribuindo para a expansão e modernização das redes de prestadores de serviços de telefonia fixa, móvel e TV por assinatura. Esta ação foi importante para a indústria tecnológica local para estimular a demanda por equipamentos, *software* e promover a universalização dos serviços de telecomunicações. O perfil de grandes atores privados das telecomunicações pode ser conferido ao BNDES quando foi peça fundamental no processo de fusão da Oi com a Brasil Telecom. Porém, a contribuição do BNDES entre os anos de 1999 e 2008 representa apenas 18% do total investido nestes dez anos, conforme aponta Loural (2010).

Atualmente, é possível identificar eventuais parcerias entre os níveis federativos para programas públicos. Estas parcerias ocorrem de duas maneiras: os municípios e órgãos públicos interagem com a União em um "regime de balcão" ou cada esfera atua independentemente das demais. Este modelo de parceria representa um gargalo pela ausência de uma política setorial articulada com outras ações do Estado. Por outro lado, a União ainda possui diversas iniciativas em que estão previstas parcerias com outras esferas do governo pelo Programa de Inclusão Digital do Ministério das Comunicações. Por exemplo, o Programa Governo Eletrônico – Serviço de Atendimento ao Cidadão (Gesac) prevê que qualquer órgão da administração pública possa ser responsável por solicitar o atendimento de serviços de telecomunicações para instituições públicas. Além disso, telecentros são utilizados para a prestação de serviços de acesso à internet em banda larga para a comunidade local dos municípios. Há ainda o Programa Banda Larga nas Escolas, que visa prover o serviço de acesso à internet banda larga para as escolas públicas do país em zona urbana, conforme aponta Loural (2010).

Os desafios e as oportunidades do setor de telecomunicações surgem em um contexto de profundas transformações estruturais e políticas. O movimento destas transformações dita a dinâmica da evolução da tecnologia dos serviços de telecomunicações que

pode resultar em diferenças profundas de um panorama antigo para um novo. Neste caso, a infraestrutura de telecomunicações, não é mais vista como aquela utilizada para apenas a prestação de serviços de telefonia e passa a fazer parte de um setor maior que engloba tecnologias de informação, comunicação e conteúdo. O panorama atual oferece grandes oportunidades para o desenvolvimento econômico e social, visto que a nova infraestrutura permite a exploração de novos serviços e as suas aplicações multimídia, tanto por parte das empresas historicamente pertencentes ao setor, como operadoras de telefonia, quanto por competidores vinculados a nichos fora da área das telecomunicações. Além disso, há o desafio de garantir existência de políticas públicas voltadas ao setor de telecomunicações e à utilização de seus bens e serviços nos demais setores da economia. A ação conjunta das esferas do Estado e a sua ampla coordenação são importantes para permitir que o país alcance e usufrua todos os benefícios das telecomunicações, as tecnologias de informação e comunicação e os conteúdos audiovisuais. No entanto, a ação do Estado é de longe a principal, pois as telecomunicações são um setor com variáveis heterogêneas em que não pode haver uma solução única para o papel do governo e suas políticas públicas de massificação dos serviços. A análise profunda do panorama nacional sobre o agente regulador e sua relação com as organizações privadas podem revelar soluções mais eficientes do que a tradução de práticas oriundas de outros países, que não necessariamente trarão efeitos similares no país. A utilização de conceitos e fórmulas estrangeiras pode ser um ponto de partida, mas deve ser cuidadosamente adaptada para condições específicas do setor de telecomunicações brasileiro, de acordo com Loural (2010).

Pesquise mais

A Anatel é uma agência aberta à sociedade. É muito importante que a sociedade tenha uma maior proatividade para participar mais das atividades do órgão regulador e ajudá-lo a garantir uma maior difusão de serviços de telecomunicação para a população em geral. Visite o site da Anatel (http://www.anatel.gov.br) e acesse a opção do menu "acesso à informação". Lá você encontra informações sobre o planejamento

estratégico e vai conhecer sobre como a agência pretende promover a ampliação do acesso e o uso dos serviços com qualidade e preços adequados.

Sem medo de errar

Este desafio é um dos mais importantes que você teve até agora e será uma contribuição significativa para a sociedade. Desta vez, você foi convidado por um grupo de políticos para dar uma palestra em Brasília e para falar sobre o contexto atual do cenário das telecomunicações. Será muito importante que você instrua sua audiência para que ela possa exercer melhor suas atividades públicas.

Para esta nova apresentação, você pensa que seria uma excelente ideia retomar uma linha semelhante à da apresentação que aconteceu durante o evento de telecomunicações. Assim, conclui que retomar o período de tempo da última apresentação seria a opção mais lógica. Mas você ainda está em dúvida sobre outros pontos em que deve focar. Então você procura selecionar de todos os assuntos pertinentes ao evento àqueles mais importantes e trabalha para torná-los mais simples e acessíveis. Ao longo da sua linha de raciocínio sobre o contexto histórico, você aproveita para inserir aspectos importantes do panorama brasileiro, por exemplo, que a tecnologia nacional estava bastante defasada e frágil por consequência do modelo estatal durante a década de 1980. Você elabora suas ideias de forma a difundir a informação de maneira mais efetiva possível, isto é, simples e clara.

Em seguida, seu foco se orienta para um aprofundamento no assunto das interfaces das políticas públicas. Você explica como estas ações são importantes e podem afetar o futuro das telecomunicações. Exemplos reais de políticas públicas já foram realizados com sucesso e você os menciona, explicando como isso acontece. Por exemplo, o programa Governo Eletrônico – Serviço de Atendimento ao Cidadão (Gesac) prevê que qualquer órgão da administração pública possa ser responsável por solicitar o atendimento de serviços de telecomunicações para instituições públicas. Peça que pensem em outras formas baseadas no exemplo que você deu.

Ao final, você fechará a apresentação falando sobre os desafios e as oportunidades do setor de telecomunicações. Você deixa claro que o movimento destas transformações dita a dinâmica da evolução da tecnologia dos serviços de telecomunicações, o que pode resultar em diferenças profundas de um panorama antigo para um novo. Por isso, as leis a serem votadas devem ser discutidas profundamente e devem ser baseadas em uma análise sobre a real necessidade da sociedade. Além disso, você ainda chama a atenção para a utilização de conceitos e fórmulas estrangeiras. A tradução de práticas oriundas de outros países não necessariamente trará efeitos similares no país. Este pode ser um ponto de partida, mas deve ser cuidadosamente adaptado para condições específicas do setor de telecomunicações brasileiro. Desta forma, você compila a sua agenda dentro dos seguintes tópicos:

- Retoma a discussão no período de tempo de sua última apresentação.
- Em meio ao contexto histórico, insere aspectos importantes do panorama brasileiro.
- No ápice da apresentação, aprofunda-se no assunto das interfaces das políticas públicas.
- Fecha a apresentação falando sobre os desafios e as oportunidades do setor de telecomunicações.

Avançando na prática

O direito da sociedade

Descrição da situação-problema

O Zapzap é atualmente um aplicativo que está revolucionando a comunicação de mensagens por texto. A adesão da população tem sido muito grande por ser um serviço de custo quase zero, apenas consumindo dados do plano de internet para celular. Isso gerou um desconforto enorme para as operadoras que ofereciam um serviço semelhante e com um custo alto comparado com o Zapzap. As operadoras exigem uma ação do governo para sanar a perda de receita resultado da migração dos clientes para essa nova

modalidade de serviço. Algumas operadoras concluíram que este é um caminho sem volta e implementaram um plano de vendas que inclui o Zapzap como "parte do plano" sem que haja cobrança de dados no plano de internet. Com todo esse movimento, um Projeto de Lei foi criado e foi colocado para votação, ele proíbe a utilização de tal aplicativo por ser lesivo aos interesses econômicos das operadoras. Jorge, que é do Partido da Tecnologia, não gostou nem um pouco deste projeto. Felizmente, Jorge assistiu à sua apresentação e agora está mais informado. Você pode ajudá-lo a convencer os outros a votar da melhor maneira possível?

Resolução da situação-problema

Jorge deve se basear no que aprendeu sobre as interfaces das políticas públicas que são necessárias para assegurar determinado direito de cidadania, de forma difusa ou para determinado segmento social, cultural, étnico ou econômico. Ele entende que a proibição do Zap Zap é extremamente lesiva para as pessoas, uma vez que esse aplicativo já faz parte da atividade econômica e social há algum tempo. Além disso, o Marco Civil da Internet – especificamente pela Lei nº 12.965 – descreve itens que esclarecem que certas atividades das operadoras atuam fora das diretrizes legais. Assim, seria possível ter respaldo legal para convencer aqueles que acreditam que as operadoras também foram lesadas pelo surgimento da tecnologia do Zapzap. Você acredita e defende que o aplicativo não deve ser proibido e também entende que deve haver alguma ação para que as operadoras não fiquem no prejuízo. Você convence a todos que a melhor ideia é votar contra a proibição e revisar o Projeto de Lei para que fique mais abrangente e justo. Você sugere que as vendas que incluem um "*software* de comunicação por texto" como "parte do plano" sem que haja cobrança de dados no plano de internet seja regulado e que financiamentos para projeto da melhoria da rede de comunicação de internet sejam facilitados. Assim, a maioria acaba vetando o Projeto de Lei que, em seguida, passa a ser reformulado de acordo com as diretrizes que foram discutidas.

Faça valer a pena

1. O estabelecimento de um dos primeiros sistemas de comunicação do Brasil se deveu pela iniciativa do empreendedor Irineu Evangelista de Sousa. Em 1872, Irineu teve o privilégio de explorar as comunicações telegráficas por 20 anos, lançando a comunicação por cabo submarino entre o Brasil e a Europa.

Marque a alternativa correta que indica o motivo do crescimento extraordinário das telecomunicações no Brasil.

a) Era uma ferramenta para facilitar negócios.

b) Foi uma moda passageira da época.

c) Era uma tecnologia necessária na guerra.

d) Foi uma vontade de Dom Pedro II.

e) Portugal queria controlar o Brasil.

2. Durante o século XX, o modelo privado de gestão permaneceu até o fim dos anos de 1960. Havia vários organismos que controlavam a exploração sobre a comercialização dos sistemas de comunicação. A Companhia Telefônica Brasileira (CTB), subsidiária da Canadian Traction Light and Power Company, possuía dois terços dos assinantes no Brasil em 1957. A maior parte se concentrava nas áreas dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Havia também a Companhia Telefônica Nacional (CTN), filial da International Telephone and Telegraph, no Rio Grande do Sul. Em Minas Gerais e no Espírito Santo havia as subsidiárias da CTB. Nesta época, existiam aproximadamente 900 concessionárias municipais.

Marque a alternativa correta que indica o motivo de o modelo de gestão da infraestrutura de telecomunicações não ser eficiente para expansão.

a) O modelo não tinha problemas por ser gerenciado pela iniciativa privada, que tinha interesse em grandes negócios.

b) O modelo foi e continua sendo um exemplo de sucesso para implementação e expansão de serviços de telecomunicação.

c) O modelo tinha o objetivo principal de explorar as telecomunicações com base na satisfação da sociedade brasileira.

d) O modelo sofria com a ausência de coordenação e de objetivos comuns de desenvolvimento e ampliação dos serviços.

e) O modelo era unicamente social e visava atender todos os aspectos que beneficiam o cidadão e seu acesso à tecnologia.

3. Após o início da década de 1960, houve um movimento estratégico importante para se mudar o cenário das comunicações. Nascimento (2008) afirma que até os anos de 1950 não existia uma preocupação para se criar políticas públicas que viabilizassem um maior controle pela regulamentação e organização do setor.

De acordo com o texto, marque a alternativa correta sobre a mudança do modelo de gestão das telecomunicações no Brasil.

a) O controle das telecomunicações passou a ser estatal.

b) O controle das telecomunicações passou a ser privado.

c) A ditadura da época implantou um modelo militar de comunicações.

d) A comunicação passou a ser controlada por empresas internacionais.

e) As telecomunicações não tinham um controle de qualquer natureza.

Referências

ANATEL. **Institucional**. 2017. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/institucional/institucional-menu>. Acesso em: 7 jun. 2017.

COVER, Tomas M.. **Elements of information theory**. 2. ed. Haboken: John Wiley & Sons, 2006.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de comunicação**: analógicos e digitais. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2004.

HERCE, Manuel. **O negócio da cidade**. Rio de Janeiro: Mauad X, 2015.

JAVED, Adeel. **Criando projetos com Arduino para a internet das coisas**. São Paulo: Novatec Editora, 2016.

LOURAL, Claudio de Almeira. **Desafios e oportunidades do setor de telecomunicações no Brasil**. Brasília: Cepal-ipea, 2010.

MEDEIROS, Julio César de Oliveira. **Princípio de telecomunicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007.

NASCIMENTO, Jamerson Rogério do. **O setor de telecomunicações**: história e políticas públicas no Brasil. 2008. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia, Faculdade de Economia e Finanças, Ibmec, Rio de Janeiro, 2008.

WEYRICH, Michael; SCHMIDT, Jan-philipp; EBERT, Christof. Machine-to-Machine Communication. **Ieee Software**, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 19-23, jul. 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/ms.2014.87.

Componentes básicos

Convite ao estudo

Caro estudante,

Gostaríamos de convidá-lo para enfrentar o nosso próximo desafio e nos aprofundarmos no tema de telecomunicações. Nesta unidade, vamos fornecer os conhecimentos para que você entenda a profissão de quem desenvolve, implanta e dá manutenção a redes de telecomunicações. Além disso, vamos complementar seu conhecimento na área elétrica e eletrônica para lhe permitir entender como se cria, planeja e constrói equipamentos de rádio. Você também vai obter conhecimentos gerais sobre os assuntos relacionados a satélites artificiais, sistemas de difusão, codificação e retransmissão dos sinais que interligam o planeta.

O mercado de trabalho desta área no Brasil é atualmente bastante interessante. Com a implantação do Programa Nacional de Banda Larga (PNBL), do governo federal, em 2001, o acesso à internet por banda larga móvel (por smartphones) aumentou de 13 milhões de acessos naquele ano para 178 milhões em 2015. A meta do governo é que 95% da população tenha acesso à internet de banda larga nos próximos dois anos. Essa evolução abre boas perspectivas para os especialistas em telecomunicações. O governo federal e as operadoras do setor são os maiores empregadores. Com as metas impostas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), o Norte e o Nordeste devem elevar a demanda pelo tecnólogo em telecomunicações. Fábricas de aparelhos de telecomunicação e eletrônicos da Zona Franca de Manaus possuem diversas oportunidades para profissionais desta área, de acordo com a Anatel (2017).

Desta vez, vamos começar nos aprofundando em conhecimentos relacionados com os componentes básicos dos sistemas de telecomunicação. Aprenderemos sobre o radiotransmissor, o radioreceptor e sobre as linhas de transmissão. Vamos lá?

Você mora atualmente em uma cidade pequena e afastada dos grandes centros do país. Você percebeu que existe um nicho promissor em rádio difusão nesta região e deseja explorar esta oportunidade. Uma vez que você veio de um grande centro, possui um excelente suporte para lhe ajudar neste empreendimento. Além disso, a cidade possui pessoas importantes que são seus potenciais investidores. Durante seus estudos nesta unidade, vamos enfrentar juntos a sua missão de desempenhar sua função profissional com excelência e beneficiar os cidadãos da sua cidade.

Seção 2.1

Radiotransmissor

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na unidade anterior, você estudou conceitos importantes dos sistemas de telecomunicação que foram particionados em três seções. Na primeira seção começamos apresentando o contexto histórico e enfatizamos como era a vida antes e depois da tecnologia de comunicação por longas distâncias. Em seguida, prosseguimos com o desenvolvimento da teoria apresentando conceitos básicos fenômenos físicos no contexto da vida dos cientistas que estudavam sobre o assunto em cada época. Na segunda seção, entramos na discussão de questões mais avançadas sobre os sistemas de telecomunicações em geral. Finalmente, você aprendeu na terceira seção que a parte política e social é tão importante quanto a parte técnica. Começamos a seção a partir de uma revisão do contexto histórico exatamente no período de tempo em que paramos na primeira seção e encerramos o assunto discutindo sobre políticas sociais no âmbito das telecomunicações.

Nesta nova unidade, vamos nos aprofundar em conceitos mais avançados da telecomunicação. Vamos discutir sobre os componentes básicos de um sistema de comunicação sem fio. Na primeira seção, vamos aprender sobre o funcionamento do radiotransmissor e os diversos componentes necessários para fazer este tipo de sistema funcionar. Isso será importante para lhe auxiliar em seus trabalhos para explorar o nicho promissor em radiodifusão na região em que está morando.

Você está confiante de que terá sucesso por vir de um grande centro e de que possuirá um excelente suporte para lhe ajudar neste empreendimento, embora ainda não saiba quais sistemas quer implantar na cidade e precise entender sobre os principais sistemas de radiotransmissão. No entanto, você ainda está em dúvida sobre outros

nos quais que deve focar e deseja muito aproveitar a oportunidade de ser financiado por pessoas que possuem muitos recursos. Você deve avaliar a complexidade de cada sistema e relacionar o seu custo-benefício. O sucesso de sua empresa para a prestação de serviços de difusão vai depender disso. Assim, após pensar por algum tempo, surgem dúvidas que devem ser respondidas: o que preciso saber para implantar um sistema de radiotransmissão nesta região? Qual é o melhor tipo de modulação? Estas são qquestões para as quais vamos descobrir juntos as respostas durante o estudo desta unidade.

Não pode faltar

Apresentamos na Unidade 1 as bases dos sistemas de comunicação por longa distância. Relembramos que na Seção 1.1 revelamos um histórico das telecomunicações em que pesquisadores superaram o desafio de comunicar por longas distâncias utilizando o telégrafo e o telefone. É também importante neste momento retomar brevemente parte do fim daquele período para falar de outro recurso muito presente nas tecnologias atuais: as comunicações sem fio. Os principais responsáveis pelo funcionamento do rádio foram Guglielmo Marconi e Nikola Tesla. Marconi foi responsável pelo desenvolvimento da tecnologia de transmissão de som por ondas de rádio, no fim do século XIX, embora a suprema corte americana concedesse o mérito da criação do rádio a Nikola Tesla. Isso aconteceu por que Marconi utilizou 19 patentes de Tesla no projeto de seu sistema de comunicações. No Brasil, um estudioso também fez importantes contribuições na área de sistemas de comunicação (OSHEY, 2008). Em 1893, o padre Roberto Landell de Moura também fazia experiências em um laboratório que ficava próximo à sua paróquia. Foi responsável por fazer as primeiras transmissões de rádio no mundo, embora não seja reconhecido, tampouco conhecido, de acordo com Hamilton (1984).

Pesquise mais

Roberto Landell de Moura foi um padre católico, cientista e inventor brasileiro. Ele nasceu em Porto Alegre, em 21 de janeiro de 1861, e

faleceu em sua cidade natal, em 30 de junho de 1928. Teve um papel importante na sociedade brasileira, apesar de ter sido hostilizado e não ser reconhecido. Ele foi um dos primeiros a conseguir a transmissão de som e sinais telegráficos sem fio por meio de ondas eletromagnéticas e também conseguiu registrar patentes da área no Brasil e Estados Unidos. A história e os desafios que ele enfrentou durante a vida merecem ser conhecidos e compartilhados por todos os brasileiros. Pesquise mais sobre a vida deste padre brasileiro no livro *Padre Landell de Moura*: um *herói sem glória*.

Você sabia que ele precisou ir para os Estados Unidos para conseguir patentear suas invenções? Sabia também que o laboratório dele foi incendiado por fanáticos que acreditavam que ele estava envolvido com magia negra? Então, descubra como estas histórias se desenvolveram neste livro.

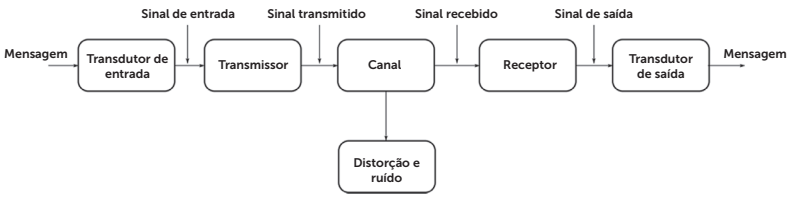
O primeiro serviço de rádio a operar pelo mundo foi a transmissão radiofônica, que podia levar notícias para as pessoas cobrindo um grande território. A transmissão e recepção simultânea (transcepção) foram utilizadas quase na mesma época, mas de forma restrita por organizações militares.

Após essa breve revisão do histórico das comunicações sem fio, voltamos a focar em questões técnicas. As ondas de rádio VHF, UHF, ondas médias e ondas curtas não devem soar estranhas para você, pois já deve ter ouvido sobre este assunto em algum momento. Pode ser que você não saiba o significado exato de cada sigla, mas com certeza sabe que sem as ondas de rádio grande parte das comunicações sem fio seria inviável. A onda de rádio é uma onda de natureza eletromagnética que se propaga pelo espaço e não depende de um meio físico para isso. Por exemplo, a luz, que também é uma onda eletromagnética, propaga-se pelo espaço partindo das estrelas até chegar aos nossos olhos. As ondas de rádio têm diferentes frequências e seu uso prático começa a partir de algumas centenas de quilo-hertz. Quando sintonizamos uma onda com um receptor de rádio em uma frequência específica, é possível captar um sinal que pode ser música, voz ou dados, de acordo com Jobstraibizer (2010).

O espectro eletromagnético é muito grande e possui faixas com diversas aplicações em atividades que temos cotidianamente. Por

exemplo, a luz, uma onda eletromagnética, é utilizada em sistemas de comunicação por fibra óptica. Outra parte do espectro já é reservada à exploração das ondas de rádio para realizar comunicação por longas distâncias. Assim, relembramos a Unidade 1, Seção 1.2, em que modelamos um sistema de comunicação em diagrama de blocos. Nesta seção, vamos estender a complexidade do diagrama conforme é mostrado na Figura 2.1 para as comunicações sem fio.

Figura 2.1 | Diagrama de blocos de um sistema de comunicação



Fonte: elaborada pelo autor.

Cada estágio da Figura 2.1 tem uma função importante. Uma fonte origina a mensagem, tal como a voz humana, uma imagem de TV ou mesmo dados. Se o dado não está na forma de eletricidade (voz ou imagem), então deve ser convertido pelo transdutor de entrada em uma forma de onda conhecida como sinal banda base ou sinal mensagem. O transmissor modifica o sinal banda base de forma que sua transmissão seja eficiente. O canal é um meio – na Seção 1.2 mostramos que pode ser o fio, a fibra óptica ou o ar –, o qual é alimentado pela saída do transmissor. Em seguida, o canal alimenta a entrada do receptor. O receptor reprocessa o sinal recebido do canal desfazendo as modificações feitas no sinal pelo transmissor e o canal. A saída do receptor alimenta a entrada do transdutor de saída, o qual converte o sinal elétrico em sua forma original: a mensagem, como aponta Lathi (2010)

Podemos entender o canal como um filtro que atenua e distorce a forma de onda do sinal. Lembre-se de que a atenuação e os deslocamentos atuam de forma diferente em diferentes componentes de frequência do sinal. Então, a forma de onda é distorcida porque diferentes quantidades de atenuação e deslocamentos de fase acontecem em diferentes componentes de frequência do sinal. O exemplo mais clássico é o da onda quadrada, que, ao passar por

um canal com características de filtro passa-baixas, terá as bordas arredondadas devido à filtragem de parte de seu espectro. Este tipo de distorção, chamado de distorção linear, pode ser corrigido parcialmente no receptor por um equalizador com características de ganho e fase complementares àquelas que foram distorcidas pelo canal. É possível também que o canal cause distorções não lineares com atenuações diferentes que estão em função da amplitude do sinal. Eventualmente, este tipo de distorção poderia também ser atenuado pelo uso de um equalizador complementar no receptor. Além disso, o sinal não é só distorcido pelo canal, mas é também contaminado ao longo do caminho por ruído.

O grande desafio para combater o ruído está em sua natureza aleatória e tem origem em causas internas e externas. As causas externas se originam de sinais transmitidos nas proximidades, ruído causado por interruptores de luz com defeito, partidas de ignição de automóveis ou ruído natural causado por raios das tempestades. Estas fontes de ruído podem ser atenuadas e até eliminadas com o devido cuidado. O ruído interno resulta da movimentação térmica dos elétrons nos condutores, de emissão aleatória e da difusão ou recombinação de portadores carregados em dispositivos eletrônicos. De forma similar, o efeito do ruído interno pode ser atenuado, mas nunca eliminado. O ruído interno é um dos fatores básicos que impõem limites na taxa de comunicação. Além disso, a relação entre sinal e ruído é uma métrica exaustivamente utilizada na engenharia de telecomunicações. O termo em inglês *signal-to-noise ratio* (SNR) é definido como a relação entre a potência do sinal e a potência do ruído. Contudo, a potência do sinal transmitido vai diminuindo à medida que a distância aumenta enquanto atravessa o canal. Desta forma, a SNR diminui continuamente ao longo do percurso do canal. Uma solução intuitiva seria pensar que a amplificação do sinal que perdeu potência poderia recuperar o nível de potência do sinal original. O problema é que o ruído seria amplificado na mesma proporção e a SNR, no melhor dos casos, continuaria a mesma, de acordo com Lathi (2010).

O radiotransmissor é o aparelho eletrônico gerador de onda eletromagnética, em uma certa frequência, e utiliza uma antena para irradiar um sinal. A antena, feita de condutor metálico, tem a função de converter a corrente elétrica em energia radiante (onda eletromagnética) e vice-versa no caso do transceptor ou

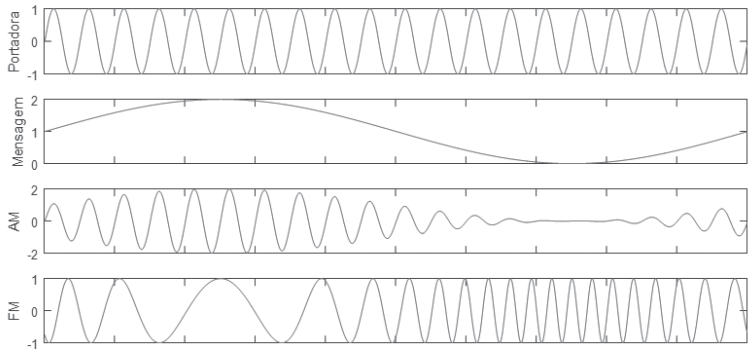
receptor. Para uma radiação eficiente da energia eletromagnética, a antena radiante deve estar na ordem de um décimo ou mais do comprimento de onda do sinal irradiado. Para muitos sinais em banda base, os comprimentos de onda são muito grandes para dimensões razoáveis de antena. Por exemplo, a potência em um sinal de fala está concentrada em frequências na faixa de 100 Hz a 3.000 Hz. O comprimento de onda correspondente é de 100 km a 3000 km. Este enorme comprimento de onda necessitaria de uma antena de dimensões impraticáveis. Em vez disso, nós modulamos uma portadora de alta frequência e, portanto, traduzimos o espectro do sinal para uma região de portadoras de frequência que correspondam a comprimentos de onda menores, segundo Lathi (2010).

Exemplificando

Uma portadora de 1 MHz tem um comprimento de onda de somente 300m e requer uma antena cujo o tamanho é da ordem de 30m. Neste aspecto, modulação é como se o sinal de banda base pegasse uma carona em uma senoide (portadora) de frequência mais alta. A portadora e o sinal banda base podem ser comparados com uma pedra e uma folha de papel. Não vamos conseguir atingir uma distância muito grande se apenas amassarmos e atirarmos a folha. O correto seria embrulhar a pedra com a folha para atingir uma distância muito maior.

Os sinais banda base produzidos pelas diversas fontes de informação nem sempre são adequados para a transmissão direta em um dado canal. Estes sinais são geralmente modificados para facilitar a transmissão. Este processo de conversão é chamado de modulação. Neste processo, o sinal banda base é utilizado para modificar alguns parâmetros de sinal de uma portadora que possui frequência muito superior à frequência do sinal modulador. Uma portadora é uma senoide, e um de seus parâmetros – tais como amplitude, frequência ou fase – é variado na proporção de uma função do sinal banda base. Portanto, nós temos a modulação em amplitude (AM), modulação em frequência (FM) ou modulação em fase (PM). No receptor, o sinal modulado deve passar pelo processo reverso, chamado de demodulação, para reconstruir o sinal banda base. A Figura 2.2 mostra exemplos de portadora, mensagem e resultados de modulação, segundo Lathi (2010).

Figura 2.2 | Exemplos de forma de onda de modulações



Fonte: elaborada pelo autor.

Uma das formas de modulação mais versáteis utilizadas na prática é a modulação AM-DSB/TC. Nesta sigla, AM significa *amplitude mudulated* ou amplitude modulada, DSB significa *double side band* ou banda lateral dupla e TC significa *transmitted carrier* ou portadora transmitida. Existem outros esquemas de modulação AM, mas vamos focar no esquema AM-DSB/TC por suas características convenientes. O modelo do sinal de transmissão pode ser escrito como:

$$y_{AM}(t) = [A + m(t)]\cos(\omega_c t) = A\cos(\omega_c t) + m(t)\cos(\omega_c t)$$

O segredo do sucesso desta modulação está na maneira de transmitir uma portadora $A\cos(\omega_c t)$ junto com o sinal modulado $m(t)\cos(\omega_c t)$, sendo que A representa a amplitude da portadora, ω_c representa a frequência da portadora e $m(t)$ função da forma de onda da mensagem. Sendo m_p o valor máximo de $m(t)$, a condição $A \geq m_p$ deve ser satisfeita para garantir que haja modulação sem distorção. Assim, definimos o índice de modulação como $\mu = \dfrac{m_p}{A}$, em que $0 \leq \mu \leq 1$. Como resultado, pelo fato de transmitir duas componentes, o circuito gera uma potência de saída muito maior, elevando o custo do projeto eletrônico. Assim, um sistema de difusão com uma multiplicidade de receptores para cada transmissor seria economicamente beneficiado com um sistema que emprega um equipamento transmissor mais complexo de alta potência e receptores simples. No começo, a utilização de

modulação AM-DSB/TC foi dominante na difusão de programas de notícias e entretenimento. No entanto, houve uma constante busca de técnicas para reduzir o ruído. O principal problema do ruído é que este aumenta com a largura de banda do sinal. Assim, quanto maior a largura de banda do sinal, maior será a potência de ruído. Uma vez que a potência do ruído é proporcional ao tamanho da largura de banda do sinal, o foco passou a ser encontrar um esquema de modulação alternativa que reduzisse a largura de banda, como aponta Lathi (2010).

Reflita

Acabamos de aprender que pode ser economicamente conveniente que uma estação transmissora possa ser mais bem elaborada em sistema de difusão com múltiplos receptores. A vantagem da modulação AM-DSB/TC está relacionada com a possibilidade de utilizar um circuito mais simples e barato: o detector de envoltória. Este fato compensa o investimento em um transmissor complexo para transmitir com uma maior potência e alcançar distâncias maiores. Isso permite uma grande acessibilidade ao serviço de difusão pela população. Por outro lado, seria possível uma solução para quando é necessário haver transmissor e receptor no mesmo equipamento?

A ideia da modulação em frequência (FM), em que a frequência da portadora deve variar em proporção ao sinal mensagem, surgiu como uma solução intrigante para o problema do ruído discutido anteriormente. A frequência de portadora $\omega(t)$ deve variar com o tempo, tal que $\omega(t) = \omega_c + k\,\mathrm{m}(t)$, em que k é uma constante arbitrária. Se o pico da amplitude de $\mathrm{m}(t)$ é m_p, então os valores máximo e mínimo da frequência de portadora são $\omega_c + km_p$ e $\omega_c - km_p$, respectivamente. Seria intuitivo pensar que as componentes espectrais devem permanecer dentro desta banda com uma largura de banda $2km_p$ centrada em ω_c. O que acontece é que, diferentemente da modulação AM, a modulação em ângulo é não linear. Desta forma, o princípio da superposição não se aplica. Por exemplo, para funções arbitrárias $a_1(t)$ e $a_2(t)$ temos que:

$$A\cos\{\omega_c t + k_f[a_1(t) + a_1(t)]\} \neq A\cos[\omega_c t + k_f a_1(t)] + A\cos[\omega_c t + k_f a_2(t)]$$

Por isso, determinar a largura de banda de um sinal FM é um pouco

mais complicado. Isso também faz com que a largura de banda deste tipo de modulação seja infinita para qualquer sinal mensagem. Felizmente, a maior parte do conteúdo do sinal mensagem se concentra mais próximo da portadora. Isso nos permite estabelecer uma largura de banda aproximada para o sinal FM que seja aceitável no quesito de distorção do sinal. A modulação FM está intimamente relacionada com a constante arbitrária k e pode ainda ser dividida em modo banda estreita e banda larga, como aponta Lathi (2010).

Se k é muito pequeno, tal que $|ka(t)| \ll 1$, então o sinal FM transmitido pode ser considerado como de banda estreita. Portanto temos que

$$y_{FM}(t) \approx A[\cos \omega_c t - k\,\mathrm{a}(t)\,\mathrm{sen}\,\omega_c t]$$

Esta expressão mostra que a modulação FM em banda estreita é linear. Em comparação, vemos também que é similar ao modelo de sinal AM. Logo, se a largura de banda de $\mathrm{a}(t)$ é B, então a largura de banda de $y_{FM}(t)$ é 2B. É necessário lembrar, entretanto, que apesar das aparentes similaridades, os sinais AM e FM possuem formas de onda bem diferentes, conforme mostrado na Figura 2.2. No sinal AM, a frequência é constante e a amplitude varia com o tempo. Já na modulação FM, a frequência varia e a amplitude é constante no o tempo, de acordo com Lathi (2010).

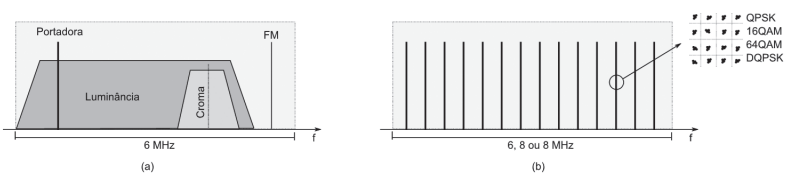
Se o desvio da portadora é grande o suficiente, ou seja, a constante arbitrária k não satisfaz a condição $|ka(t)| \ll 1$, então o sinal FM produzido não pode ser mais aproximado para um modelo linear conforme mostramos anteriormente. Assim, retomamos mais uma vez o pensamento intuitivo de que os valores máximo e mínimo da frequência de portadora deveriam ser $\omega_c + km_p$ e $\omega_c - km_p$, respectivamente, resultando em uma largura de banda de $2km_p$. Acreditamos num primeiro momento neste fato porque sabemos que uma senoide de frequência ω está espectralmente concentrada na frequência ω. Infelizmente, isso é apenas verdade para senoides que têm duração infinita e não para senoides finitas. Neste caso, as senoides finitas resultarão um efeito de espalhamento harmônico que pode superar os limites de $2km_p$. Felizmente, existe uma boa aproximação chamada de Carson´s rule que pode ser expressa em termos de k como $\mathrm{B}_{FM} = 2\,\mathrm{B}(\beta + 1)$, em que $\beta = \dfrac{k\,m_p}{2\pi\,\mathrm{B}}$ é denominado índice de modulação, de acordo com Lathi (2010).

Assimile

Os índices de modulação são parâmetros de projeto muito importantes para garantir que a modulação não seja distorcida após a recepção do sinal. Utilizamos $\mu = \frac{m_p}{A}$ para a modulação AM e $\beta = \frac{k\, m_p}{2\pi\, \mathrm{B}}$ para a modulação FM. Observe que estes índices estão ligados ao valor máximo m_p do sinal mensagem. Observe também que ao ultrapassar o limiar destes limites, pode ocorrer a sobremodulação, que inviabiliza a reconstrução do sinal no receptor.

Atualmente o Brasil está passando por uma transição entre sistemas de difusão de televisão. A migração está sendo feita do sistema analógico para o sistema digital. O sistema analógico vem sendo desligado progressivamente para permitir que os telespectadores se adequem ao novo sistema digital. O novo sistema propicia uma experiência de qualidade de imagem e som muito superior ao antigo sistema analógico. A Figura 2.3 mostra o espectro dos sinais de televisão analógico e digital, segundo Fischer (2010).

Figura 2.3 | Exemplos de formas de ondas de modulações



Fonte: elaborada pelo autor.

O sistema analógico, Figura 2.3(a) utiliza o padrão PAL-M (em português, linha de fase alternada), que transmite o sinal de vídeo utilizando modulação AM e o som utilizando modulação FM. Observe no espectro a região de luminância, que tem a função de carregar a informação de brilho e contraste, e a região de croma, que tem a função de carregar a informação de cores. Já o sistema digital, Figura 2.3(b) usa o sistema ISDB-T, que utiliza a tecnologia de modulação BST-OFDM, a qual permite dividir a banda de 6 MHz em 13 segmentos. O sistema digital permite modulações digitais complexas.

A utilização de modulações digitais mais complexas permite transmitir uma quantidade maior de bits simultaneamente. No diagrama estelar mostrado na Figura 2.3b observe uma matriz de 4x4 pontos. Esta é a representação da modulação 16 QAM, que consegue transportar 4 bits simultaneamente em cada ponto. Os 13 segmentos podem ser divididos em três grupos hierárquicos para atender critérios de aplicação ao qual se destinam. Um desses segmentos é reservado à transmissão para receptores móveis e portáteis, tais como celulares e notebooks, com parâmetros de transmissão adequados a essa aplicação. Os outros 12 segmentos podem ser utilizados para transmissão para receptores fixos em HDTV (TV de alta definição) e/ou SDTV(definição padrão de imagem) ao mesmo tempo e no mesmo canal, como aponta Fischer (2010).

Sem medo de errar

Sua primeira meta na cidade em que mora foi pesquisar o comportamento dos cidadãos sobre o uso dos sistemas de comunicação. Você percebeu que a região ainda é muito atrasada e o principal serviço de difusão de notícias e entretenimento ainda é por modulação AM. Os principais programas apreciados pelas pessoas eram o jornal da noite e o futebol. Você percebeu que as pessoas eram tolerantes à tecnologia atual, que apresentava uma qualidade de som ruim e ruído constante. Agora, você entende mais sobre a modulação AM. A amplitude da onda portadora de um transmissor é variável conforme a modulação do sinal modulador (mensagem), obtendo-se o sinal modulado. Quando o sinal da notícia ou a narração do futebol entra em um transmissor AM, este realiza a conversão do som em tensão (voltagem) variada. Esta voltagem é amplificada e então usada para variar a potência da saída do transmissor. A amplitude modulada adiciona potência à onda portadora, com a quantidade acrescentada dependendo da intensidade da voltagem de modulação.

Felizmente, você percebeu que havia também uma população significativa de jovens e pensou que provavelmente iriam apreciar música de alta qualidade. Esta seria uma ótima oportunidade para implantar um sistema de difusão FM disponível para toda a cidade. Há muitas vantagens na utilização de modulação de frequência. Devido

à susceptibilidade ao ruído da AM, você decidiu que a modulação FM seria uma decisão acertada. A frequência modulada é pouco afetada por ruído, pois na modulação FM, o que varia é a frequência. O ganho da qualidade de som vem ao custo de uma largura de banda maior. Em termos comparativos, uma transmissão de rádio AM tem uma faixa de 10KHz, enquanto uma transmissão de rádio FM tem uma largura de faixa da ordem de 200 KHz. As transmissões comerciais são realizadas na faixa VHF, que começa em 88 MHz e termina em 108 MHz, podendo acomodar uma boa quantidade de estações de rádio.

Assim, você busca pessoas interessadas neste tipo de modelo de negócios e começa a colocar em prática o seu projeto para disponibilizar uma estação de difusão de rádio FM em sua região.

Avançando na prática

Expandindo a difusora de FM

Descrição da situação-problema

João Rico é um grande fazendeiro da região que tem um negócio lucrativo no ramo da agropecuária. João é também um empresário versátil que gostou da sua ideia e decidiu ser proprietário de uma estação de rádio FM. Você enfrentou vários desafios na instalação da difusora de FM e agora está bem mais preparado para enfrentar os problemas técnicos que apareceram. Após um tempo, João Rico notou que a qualidade do som ainda não era suficiente para o que ele esperava. Ele diz que em certas regiões ainda é possível notar ruído no som. Vamos ajudar João Rico a resolver o problema?

Resolução da situação-problema

Você já sabe que a modulação FM tem a grande vantagem de ser mais robusta contra o ruído em relação à modulação AM. Esta robustez está relacionada com a potência de uma onda modulada em FM. Embora a frequência instantânea da onda FM varie com o tempo, a amplitude A permanece sempre constante. Portanto, a

potência de uma onda FM é sempre $\frac{A^2}{2}$ independentemente do índice de modulação. O problema é que a modulação FM será também susceptível ao ruído para regiões bem distantes, nas quais o nível de potência do sinal chega baixo. Você verificou a licença de operação e notou que a potência está no limite máximo, então alterar a potência não seria uma opção. Outra avaliação apontou que o sistema estava operando em uma largura de banda de transmissão FM menor que a do documento de licenciamento. Assim, você corrige o valor e avalia a qualidade do sinal nas regiões que João Rico disse que a qualidade do som estava ruim. A mudança é nítida e João Rico fica bem satisfeito com o resultado.

Faça valer a pena

1. O primeiro serviço de rádio a operar pelo mundo foi a transmissão radiofônica, que podia levar notícias para as pessoas e era capaz de cobrir um grande território. A transmissão e recepção simultânea (transcepção) foram utilizadas quase na mesma época, mas de forma restrita por organizações militares.

Leia as afirmativas abaixo:

I – Os transceptores eram mais caros e complexos.

II – Os transceptores eram equipamentos mais baratos para recepção de sinais.

III – Os governos geralmente investem recursos em aplicações críticas para a defesa militar.

De acordo com o texto acima, assinale a alternativa que indica o motivo pelo qual a transcepção era restrita a organizações militares naquela época.

a) Somente I.

b) Somente III.

c) I e III.

d) II e III.

e) I, II e III.

2. A onda de rádio é uma onda de natureza eletromagnética que se propaga pelo espaço e não depende de um meio físico para isso. As ondas de rádio têm diferentes frequências e seu uso prático começa a partir de algumas centenas de quilo-hertz. Quando sintonizamos uma onda com um receptor de rádio em uma frequência específica, é possível captar um sinal que pode ser música, voz ou dados.

De acordo com a leitura do texto acima, qual dos exemplos listados é uma onda eletromagnética?

a) A vibração da corda do violão.

b) As ondas na superfície da água.

c) O claro do trovão.

d) O eco em uma caverna.

e) O estrondo do trovão.

3. O canal é um meio que é alimentado pela saída do transmissor. O transmissor modifica o sinal banda base de forma que sua transmissão seja eficiente. O canal alimenta a entrada do receptor. Se o dado não está na forma de eletricidade (voz ou imagem), então deve ser convertido pelo transdutor de entrada em uma forma de onda conhecida como sinal banda base ou sinal mensagem. O receptor reprocessa o sinal recebido do canal desfazendo as modificações feitas no sinal pelo transmissor e o canal. O transdutor de saída converte o sinal elétrico em sua forma original: a mensagem.

Você deve ter notado que o texto acima não está em sequência. Seu objetivo é dar sentido ao texto e responder qual é a alternativa correta que contém a sequência correta dos estágios de um sistema de comunicação.

a) Transdutor de saída, transmissor, canal, receptor, transdutor de entrada.

b) Transdutor de entrada, transmissor, canal, receptor, transdutor de saída.

c) Transdutor de entrada, canal, transmissor, receptor, transdutor de saída.

d) Transdutor de entrada, transmissor, receptor, canal, transdutor de saída.

e) Transdutor de entrada, transmissor, receptor, transdutor de saída, canal.

Seção 2.2

Radiorreceptor

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na seção anterior, você estudou sobre o sistema de transmissão em um diagrama de blocos. Introduzimos os tipos de modulação mais comuns: AM e FM. Finalmente, fechamos nossa discussão no tema sobre TV apresentando detalhes sobre os sistemas analógico e digital.

Nesta nova seção, vamos estudar o caminho inverso percorrido por um sinal que parte de uma estação transmissora. Chamamos este caminho de volta de demodulação, que é o processo necessário para extrair a informação que está sendo transportada pela portadora. Vamos falar de dois importantes modelos de receptores e seu impacto tecnológico na indústria de receptores de difusão de rádio e TV. Apresentaremos particularidades sobre os processos de demodulação específicos como AM e FM. Finalmente, fechamos a seção discutindo sobre o sistema de televisão digital. Apresentaremos características técnicas que o torna o sistema mais robusto e apropriado para levar imagem e som de maior qualidade para as residências.

O seu primeiro projeto para instalar um sistema melhor de difusão de rádio em sua região foi um sucesso. Você conseguiu entender bem o comportamento dos cidadãos na utilização dos sistemas de comunicação, o que permitiu suplantar um sistema atrasado de difusão de notícias e entretenimento por um sistema FM de melhor qualidade. Agora, os cidadãos não estão mais restritos aos programas básicos de notícias e futebol. Com a confiança e experiência adquiridas nos projetos passados, você resolveu empreender em um projeto maior para uma difusora de televisão. Políticos e comerciantes estavam interessados no sistema de televisão para difundir suas ideias e seus produtos. Para não se arriscar muito você começou por um projeto mais contido e que estava mais bem condicionado aos interesse das

pessoas neste tipo de modelo de negócios. Após alguns meses de trabalho duro, você finalmente conseguiu implantar uma estação transmissora de TV analógica para seus clientes. Um tempo depois, os proprietários da estação de difusão sentiram a necessidade de expandir a cobertura, pois não estavam satisfeitos com o tamanho de seu público de TV. Seu trabalho será encontrar uma solução simples que não agregue muito custo a esta expansão. Seria possível ampliar a cobertura de difusão para o sistema de rádio FM? Seria possível fazer isso sem haver um custo muito grande com substituição ou compra de mais equipamentos? Vamos descobrir juntos durante o estudo desta seção.

Não pode faltar

Na seção anterior, relembramos uma parte do histórico das telecomunicações para introduzir outro recurso muito presente nas tecnologias atuais: as comunicações sem fio. Falamos também sobre as principais personalidades responsáveis pela criação do rádio, com destaque ao padre brasileiro Roberto Landell de Moura. Iniciamos também nossa discussão sobre o radiotransmissor estudando as partes por um diagrama de blocos e conhecemos diferentes tipos de modulação. Nesta seção, daremos ênfase à descrição dos estágios do receptor. Você vai aprender sobre os diversos tipos de receptor e suas especificidades. Finalmente, fechamos a seção apresentando mais detalhes sobre os receptores de FM e de televisão.

O radiorreceptor é conectado a uma antena que converte parte da energia recebida pelas ondas de rádio em tensão alternada da ordem de microvolts na frequência de rádio a qual é aplicada na entrada do receptor. Esse fenômeno acontece devido aos campos elétrico e magnético oscilantes da onda de rádio, que empurram e puxam os elétrons da antena criando uma tensão alternada em seus terminais. Dentro do radiorreceptor, podemos falar de três componentes básicos principais, de acordo com Haykin (2004).

- filtro passa-banda.
- amplificador.
- demodulador.

O receptor usa o filtro passa-banda para selecionar o sinal de rádio de uma das múltiplas estações transmissoras de rádio que são captadas pela antena. Em comunicação, ondas de rádio de várias transmissoras, considerando que estas estão devidamente licenciadas e operando nas suas faixas designadas, passam através do ar simultaneamente sem que haja interferência entre elas. Desta forma, estas ondas podem ser separadas no receptor por estarem em frequências diferentes. Para separar somente a transmissão desejada, o filtro passa-banda permite passar uma faixa de frequência desejada e bloqueia tudo o que esteja fora da faixa desejada. O filtro passa banda consiste em um ou mais circuitos ressonantes. Um circuito ressonante simples consiste em um indutor e capacitor conectados em série ou paralelo. De maneira similar a um diapasão, o circuito ressonante possui uma frequência natural que é ajustada para oscilar na mesma frequência da estação de rádio desejada. O circuito ressonante é ligado entre a linha do sinal e o terminal terra. Quando o sinal de chegada está na frequência de ressonância, o elemento de filtro conectado ao terminal terra adquire a propriedade de alta impedância e deixa passar o sinal de rádio desejado. Para todas as outras frequências, o elemento de filtro conectado ao terminal terra se comporta como baixa impedância e os sinais não desejados são derivados para fora, de acordo com Lathi (2010).

A potência das ondas de rádio captadas pela antena diminui com o quadrado da distância em relação à posição do transmissor. Mesmo com a utilização de um transmissor poderoso, comumente utilizado em estações de radiodifusão, se o receptor estiver distante alguns poucos quilômetros, a potência interceptada pela antena é ainda muito pequena, na faixa de microwatts, nanowatts e até mesmo picowatts. Uma fonte de energia é utilizada para amplificar o sinal em um circuito chamado amplificador para aumentar a potência do sinal para um nível capaz de excitar um fone, como aponta Lathi (2010).

Assimile

Até aqui você entendeu que a antena capta um sinal de baixa potência por uma emissora distante. Lembre-se de que esta potência não é suficiente para que os componentes do rádio recuperem a informação. Logo, o receptor deve fazer uso de vários estágios: o sinal de rádio, após

o filtro passa-baixa, é amplificado para torná-lo forte o suficiente para carregar o demodulador. Em seguida, o sinal mensagem recuperado do demodulador é amplificado novamente para ser forte o suficiente para operar o transdutor (alto-falante, fone de ouvido ou imagem de TV).

O grau de amplificação de um receptor de rádio é dependente de um parâmetro chamado de sensibilidade, o qual é o menor nível de potência de sinal detectável pelo receptor. Geralmente, o sinal de uma estação até a antena, medido em microvolts ou dBm, necessita de certa razão de sinal/ruído - signal-to-noise ratio (SNR) - para receber o sinal claramente. Uma vez que é fácil amplificar o sinal a um nível desejado, o limite da sensibilidade de muitos receptores modernos não é limitado pela amplificação, mas sim determinado pelo ruído eletrônico intrínseco do circuito, o qual determina se o rádio terá uma recepção fraca ou não, de acordo com Lathi (2010).

Depois de o sinal de rádio ser filtrado e amplificado, o receptor deve extrair a informação do sinal modulado, que ainda está preso na frequência de portadora. Isto é feito por um circuito chamado demodulador (às vezes, pode ser chamado de detector). Sistemas de comunicação por rádio usam vários tipos diferentes modulação de sinal para adicionar informação a uma portadora de radiofrequência no transmissor, e os receptores são classificados pelo tipo de modulação que recebem. Conforme estudado na Seção 2.1, temos:

- receptores AM: recebem sinais em amplitude modulada em que a amplitude da portadora é variada com o tempo pelo sinal modulante, de acordo com Lathi (2010).
- receptores FM: recebem sinais em frequência modulada em que a frequência da portadora de rádio varia com o tempo pelo sinal modulante, de acordo com Lathi (2010)

Os sinais de difusão de radiorreceptores recebem tipicamente sinais modulados em AM e FM. No caso especial da televisão analógica, o sinal pode ser composto parcialmente por modulação AM para o vídeo e modulação FM para o som. O sinal captado na saída do demodulador é geralmente amplificado para aumentar sua força para que consiga acionar transdutores e recuperar a

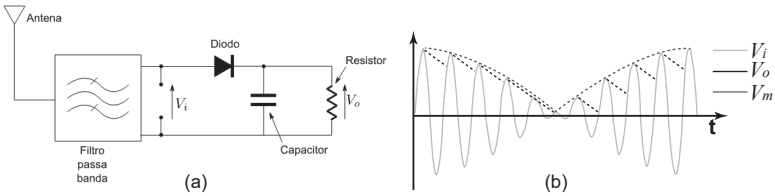
informação em sua forma original utilizável pelo homem. O sinal transmitido por uma estação de rádio é convertido para ondas sonoras por um fone ou alto-falante. Um sinal de vídeo, que é uma sequência de imagens em movimento, é convertido para sinais de luz e reproduzido por uma tela de TV. Um dado digital, que vem por um modem wireless, vem por uma entrada do computador e pode ser convertido em texto, imagem, som ou vídeo, de acordo com Lathi (2010)

Reflita

A televisão digital veio para melhorar a qualidade dos sistemas de difusão. É fato que nem tudo é perfeito e o sistema digital necessita de uma potência mínima para que haja reprodução de conteúdo. Assim, em regiões com recepção muito pequena de sinal, o receptor de TV exibe somente uma tela preta com uma mensagem de sinal insuficiente. Uma vantagem dos sistemas analógicos é que mesmo com um nível de sinal pobre, há exibição de conteúdo com qualidade relativa. Este é um caso de vantagens e desvantagens muito discutido por especialistas que defendem ambos os lados. E você, qual sistema você defende?

Utilizada para recuperar o áudio de um sinal modulado, a demodulação AM é a mais fácil de entender. A função de demodulação é realizada por um circuito conhecido como detector de envelope e é formado por um diodo e um capacitor. O envelope é simplesmente uma curva que segue o contorno da portadora conforme mostrado pela curva vermelha V_m na Figura 2.4(b) e também representa o sinal original. No circuito detector de envelope da Figura 2.4(a), temos que a saída do detector segue o envelope do sinal modulado dado pela curva verde V_o.

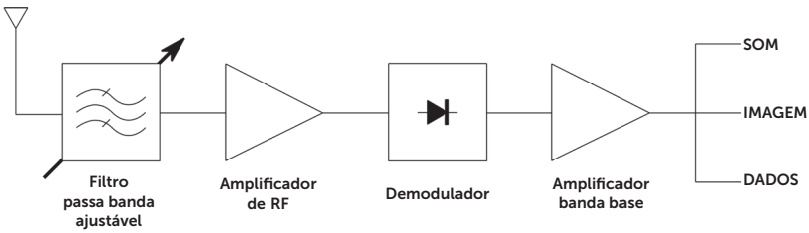
Figura 2.4 | Demodulador AM: (a) diagrama elétrico e (b) sinais no tempo



Fonte: elaborada pelo autor.

No ciclo positivo do sinal de entrada, o capacitor carrega até a tensão de pico do sinal de entrada conforme mostrado pela curva preta traçada. Conforme o sinal cai, abaixo do valor de pico, o diodo para de conduzir e a corrente do capacitor flui sobre o resistor e a tensão V_o cai lentamente até o próximo pico. Este ciclo se repete para todos os picos e é possível notar que, na média, a curva preta se aproxima da mensagem original traçada em pontilhado cinza escuro. Dizemos, na média, que o sinal de saída é uma versão bem próxima do sinal mensagem original, mas note que a curva preta apresenta uma forma serrilhada. Esta distorção pode ser corrigida utilizando-se uma filtragem apropriada e o sinal finalmente pode ter uma forma mais próxima do sinal original. As funções descritas anteriormente podem ser organizadas em um diagrama de blocos, mostrado na Figura 2.5, que representa um modelo de receptor de radiofrequência sintonizado, de acordo com Lathi (2010)

Figura 2.5 | Diagrama de blocos do receptor sintonizado de rádiofrequência



Fonte: elaborada pelo autor.

Todas as três funções que observamos no demodulador AM são realizadas consecutivamente: o sinal desejado é separado do conjunto de sinais de várias estações transmissoras captados pela antena, o sinal é em seguida amplificado para excitar adequadamente o demodulador, o demodulador recupera o sinal que está modulado na portadora, o sinal é amplificado novamente para excitar adequadamente o transdutor de saída. Este exemplo de projeto é mais didático do que prático. O problema está no fato de a filtragem, amplificação e demodulação serem feitas na mesma frequência alta do sinal de entrada. Sabemos também que a largura de banda de um filtro varia com a frequência central e, portanto, o receptor sintonizado de radiofrequência contempla um

filtro com diferentes larguras de banda para diferentes frequências sintonizadas. Além disso, existe o problema do congestionamento de estações transmissoras, que ficam cada vez mais próximas na medida em que se aumenta a ocupação do espectro de rádio. Somando-se tudo isso, conclui-se que o receptor se torna inviável devido à extrema dificuldade de se construir circuitos eletrônicos para filtros que operem com sinais de largura de banda muito próximos sem que haja interferência entre estações. Felizmente, existe um modelo de receptor que consegue contornar este problema, de acordo com Lathi (2010).

Pesquise mais

O assunto sobre modulação não se restringe ao material apresentado aqui e existe também uma infinidade de outras modulações. Além disso, é muito importante estudar os modelos matemáticos que regem as funções de modulação. Neste sentido, você deve pesquisar outros tipos de modulação e os modelos matemáticos das modulações apresentadas até agora. Para isso leia os seguintes capítulos de Lathi (2010):

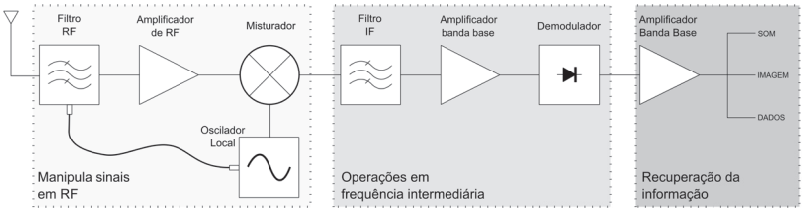
- Capítulo 4: Modulação em amplitude. Leia sobre modulação DSB, QAM, SSB e VSB.
- Capítulo 5: Modulação em ângulo. Leia sobre o conceito de frequência instantânea e demodulação FM.

LATHI, B. P. **Modern digital and analog communication systems**. 4. ed. London: Oxford University Press, 2010.

O receptor super-heteródino é um projeto de rádio utilizado pela maioria dos receptores modernos. O circuito de processamento de sinal do receptor sintonizado em frequências altas geralmente tem um desempenho muito pobre. Os dispositivos de amplificação têm um ganho pequeno e estão sujeitos à instabilidade e às interferências de natureza oscilatória parasita. Ao deslocar o espectro do sinal para frequências mais baixas, a amplificação, filtragem e detecção podem ser feitas em uma frequência mais conveniente, na qual o projeto eletrônico funciona melhor e é mais simples. As frequências diferentes de estações distintas são todas convertidas para a mesma frequência, a IF, tal que a largura

de banda e o ganho do receptor sejam uniformes sobre todo o espectro de frequência desejado. Sintonizar o receptor em uma frequência diferente requer apenas variação da frequência do oscilador local. A Figura 2.6 mostra o diagrama de blocos do receptor super-heteródino, de acordo com Lathi (2010).

Figura 2.6 | Diagrama de blocos do receptor super-heteródino



Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme tratamos anteriormente, o receptor sintonizado de radiofrequência requer um filtro passa banda que seja ajustável frequências diferentes. Existe um parâmetro importante para a descrição de filtros passa-banda chamado de fator de qualidade Q. Este parâmetro considera a largura de sua banda passante em função da frequência central do filtro, isto é, $Q = f_0 / (f_2 - f_1)$. Assim, a largura de banda de um filtro com um dado fator Q é proporcional à sua frequência central tal que sua banda aumenta à medida que a sintonia se desloca para frequências mais altas. O receptor super-heteródino resolve este problema pelo fato de aplicar osciladores sintonizáveis, que são mais fáceis de serem alterados do que filtros eletrônicos ajustáveis. Geralmente, a etapa de IF é mais elaborada visto que seus parâmetros podem ser mantidos fixos e a qualidade do receptor no geral melhora, de acordo com Lathi (2010)

Exemplificando

O fator de qualidade indica indiretamente sobre a complexidade de construção de um filtro. Assim, quanto maior o fator de qualidade, maior será a seletividade do filtro e, por consequência, a complexidade de construção do filtro também. Assim, consideramos dois filtros $f_0^{'} = 1$

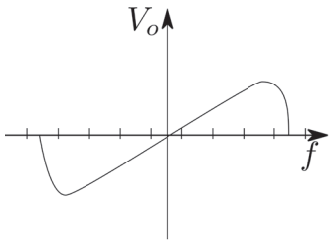
MHz e $f_0'' = 1$ GHz. Supomos também que os filtros permanecem com a mesma largura de banda B. Logo:

$$\frac{Q''}{Q'} = \frac{f_0'' / B}{f_0' / B} = 1000$$

Veja que para a frequência de 1 GHz, o filtro tem um fator 1.000 vezes maior que o filtro em 1 MHz. Logo, filtros seletivos em alta frequência são mais complexos.

Voltando ao receptor FM, este deve ser sensível às variações de frequência dos sinais captados pela antena. Conforme mencionamos na Seção 2.1, estes podem ser de banda larga ou banda estreita. Sabemos também que a amplitude do sinal FM não varia e que a informação é modulada nas variações de frequência. O demodulador deve ser construído de forma a converter as variações de frequência em variações de tensão. Desta forma, sabemos que a função de transferência deve ser uma relação linear entre a variação de frequência e tensão. Os demoduladores de FM geralmente têm uma curva característica ilustrada pela Figura 2.7, de acordo com Lathi (2010).

Figura 2.7 | Curva característica da função de transferência do demodulador FM



Fonte: elaborada pelo autor.

Uma função ideal não é alcançável pelo fato de sistemas reais serem de banda limitada e, como resultado, uma relação conhecida como curva "S" é obtida. Aqui, pode ser observado que a frequência central corresponde ao meio da resposta da curva e é o lugar onde a portadora modulada deve estar localizada quando

o receptor está sintonizado na estação desejada. O nível de sinal também deve ser controlado, pois se existem valores que caem fora da região linear, o sinal demodulado resultante estará afetado por distorções como aponta Lathi (2010).

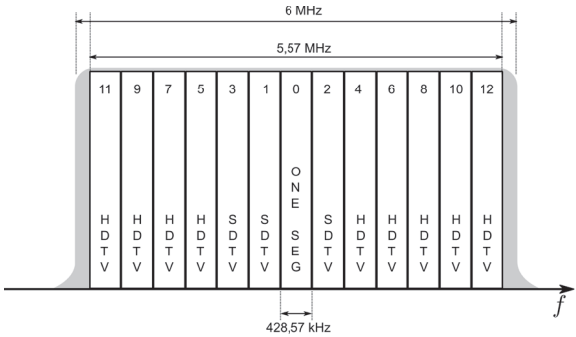
Em um sistema de TV, o principal componente de um receptor é chamado de sintonizador. No Brasil, o sistema de transmissão de TV tem canais alocados um ao lado do outro, formando uma banda de frequências. Cada um dos canais ocupa 6 MHz de banda para transmitir conteúdo de som e imagem. Para receber o programa de TV desejado, o sintonizador seleciona o canal pretendido dentre todos os canais disponíveis. No sistema analógico, a demodulação segue o diagrama do receptor super--heteródino discutido anteriormente. A informação de luminância, croma e som é extraída da FI em variações de tensão analógica que controlam os feixes luminosos que produzem a imagem no televisor.

Atualmente, há uma migração do sistema analógico para um novo sistema de transmissão de TV digital. No sistema digital, o sintonizador conserva a estrutura do receptor super-heteródino até o ponto da FI. A diferença está no ponto após esta etapa que emprega um conversor analógico digital (ADC) que irá converter o sinal da FI em um fluxo de bits para então ser demodulado e entregue na sua saída para o circuito decodificador. Uma vez no domínio digital, o processamento do sinal fica por conta de recursos computacionais, conforme aponta Bedicks Junior (2008).

A digitalização do sistema de TV veio da necessidade existente para uma transmissão robusta. Historicamente, a possibilidade para a abertura no uso de transmissão digital começou nos Estados Unidos com o sistema ATSC, que utilizou modulação em oito níveis de banda lateral vestigial 8-VSB. O segundo, DVT-T, utiliza tecnologia tradicional COFDM e foi adotado na Europa, Austrália e outras regiões do mundo. O terceiro, o ISDB-T, utiliza modulação BST-OFDM e foi adotado pelo Japão e pelo Brasil. A modulação BST-OFDM utiliza múltiplas portadoras e pode ser programada de acordo com a robustez desejada empregando modulações como: DQPSK, QPSK e QAM. O custo para se utilizar uma modulação mais robusta é pago pela redução da taxa de bits disponível. Outra característica importante, brevemente comentada na Seção 2.1, é a segmentação implementada pelo sistema ISDB-T. O canal de 6 MHz é dividido em 14 segmentos de 428,571 kHz, dos quais

somente 13 são utilizados e a banda restante disponível é utilizada como uma banda de guarda distribuída antes e depois da primeira e última portadoras OFDM para evitar sobreposição entre os canais. Até três programas com modulações e robustez diferentes podem ser transmitido nos 13 segmentos disponíveis. A Figura 2.8 mostra um exemplo de ocupação do espectro pela banda segmentada em uma transmissão hierárquica com um programa em HDTV, um programa em SDTV e um programa One Seg. O programa HDTV utiliza modulação 64QAM, o programa SDTV, 16QAM e o programa One Seg, QPSK. Os três programas são transmitidos em um único canal com largura de banda de 6 MHz , conforme aponta Bedicks Junior (2008).

Figura 2.8 | Detalhes dos segmentos do sistema ISDB-T



Fonte: elaborada pelo autor.

Sem medo de errar

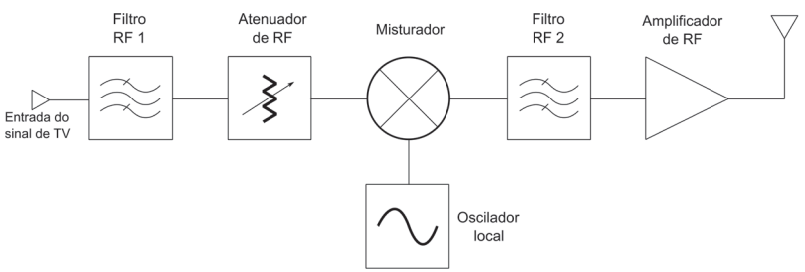
Neste momento, os proprietários da estação de difusão sentem a necessidade de expandir a cobertura de seus programas. A compra de novos equipamentos e a substituição por equivalentes mais caros está fora de cogitação. Além disso, existem apenas equipamentos para importação disponíveis e o câmbio em relação à moeda local não é favorável. Felizmente, depois de muito tempo trabalhando com sistemas de comunicação por rádio, você conseguiu adquirir uma grande experiência nesta área. Devido aos vários problemas técnicos que enfrentou, teve de aprender também sobre a parte de eletrônica necessária ao funcionamento de tais equipamentos.

Com o objetivo de encontrar uma solução simples que não agregue muito custo a esta expansão do sistema, você percebe que tem condições de construir um equipamento que poderia ser ligado no sistema de TV existente para possibilitar a difusão do som do canal de TV em receptores de rádio. A primeira coisa que você procura observar são as informações relativas à licença de transmissão da TV e à faixa de frequência para a difusão de serviço de rádio FM:

Alocação de TV	82 – 88 MHz (Canal 6)
Faixa de FM	Faixa de FM

Você sabe que o sinal de TV é composto em parte por um sinal AM e um sinal FM. O sinal FM contém a informação do som do canal e é uma modulação FM de banda larga compatível com os receptores de rádio comuns. Assim, você acredita que retransmitir esta parte do sinal de TV resolveria o problema de maneira bastante eficiente. Assim, você cria um projeto de retransmissor conforme mostrado na Figura 2.9.

Figura 2.9 | Projeto retransmissor de sinal de som para faixa FM



Fonte: elaborada pelo autor.

O filtro de RF 1 deixa passar apenas a subportadora de som contida no sinal de TV. Você configura o filtro de RF 1 para ter 200 kHz de banda, que é aproximadamente a largura de banda da subportadora de som. Visto que você está coletando o sinal diretamente da estação transmissora, o sinal tem uma potência alta e a atenuação é necessária. Em seguida, o sinal entra no misturador para que você possa deslocá-lo no espectro. O filtro RF 2 também tem uma largura de banda de 200 KHz mas está

centrado em uma frequência que está na faixa de propagação de rádio FM. Você sintoniza o oscilador local de forma que uma das imagens resultantes do misturador fique sobre a frequência central do filtro RF 2. Em seguida, o sinal de rádio é amplificado por um amplificador de RF para sinais FM e é ligado em uma antena. Por ser um diagrama simples, o custo do retransmissor de rádio não foi grande. Você conseguiu montar o equipamento utilizando componentes de qualidade para atender às normas de interferência emitidas pelo equipamento.

Avançando na prática

Retransmissor

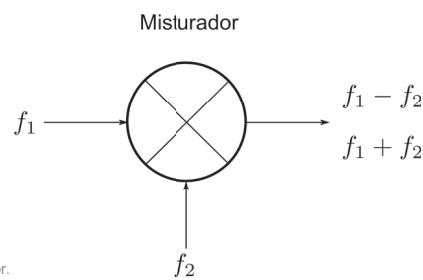
Descrição da situação-problema

José trabalha em uma indústria de rádio eletrônica e é responsável por projetos de sintonizadores. Ele recebeu este mês um projeto para ser desenvolvido que consiste em um conversor que recebe um sinal em uma frequência e transmite em outra. O retransmissor está pronto até o misturador e José apenas precisa projetar o filtro de saída. O sinal de entrada $f_i = 50$ MHz e o oscilador local $f_{LO} = 10$ MHz. A largura de banda do sinal de entrada é de apenas 8 kHz. A frequência de saída deve ser a mais alta em relação à frequência de entrada. Vamos ajudar José a resolver este problema.

Resolução da situação-problema

A estrutura do misturador é dada pela Figura 2.10.

Figura 2.10 | Misturador de sinais



Fonte: elaborada pelo autor.

O misturador é resultado da seguinte propriedade do produto de cossenos:

$$\cos a \cos b = \frac{1}{2}\left(\cos(a+b) + \cos(a-b)\right)$$

Se substituirmos as letras a e b pelas respectivas frequências da Figura 2.10, temos

$$\cos 2\pi f_1 \cos 2\pi f_2 = \frac{1}{2}\left(\cos(2\pi(f_1+f_2)) + \cos(2\pi(f_1-f_2))\right)$$

Desta forma, se considerarmos que temos que $f_1 = f_i$ e $f_2 = f_{LO}$, temos o resultado das seguintes frequências centrais na saída do misturador: $f_{o1} = f_i - f_{LO} = 40$ (MHz) e $f_{o2} = f_i + f_{LO} = 60$ (MHz). José deve considerar a frequência mais alta, $f_{o2} = 60$ MHz, para construir o filtro de saída conforme solicita o projeto. Além disso, José deve verificar se a banda do sinal de entrada não se sobrepõe ao sinal de saída. A largura do sinal de entrada é de apenas 8 kHz e as frequências centrais estão distantes de 10 MHz, logo, não há interferência. Finalmente, José poderá desenvolver um filtro que permite a passagem de frequências na faixa $59996000\,\text{Hz} < f_B < 60004000\,\text{Hz}$.

Faça valer a pena

1. O radio receptor é conectado a uma antena que converte parte da energia recebida pelas ondas de rádio em uma minúscula tensão alternada na frequência de rádio, a qual é aplicada na entrada do receptor. Esse fenômeno acontece devido aos campos elétrico e magnético oscilantes da onda de rádio que empurram e puxam os elétrons da antena criando uma tensão alternada em seus terminais.

Leia as afirmativas abaixo:

I – A luz é um exemplo de onda eletromagnética.

II – As ondas de rádio são apenas ondas sonoras propagadas pelo ar.

III – As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas.

Marque a alternativa que apenas possui afirmativas corretas.

a) Somente I.

b) Somente II.

c) I e III.

d) II e III.

e) I, II e III.

2. Em comunicação de rádio, ondas de rádio de várias transmissoras, uma vez que as estações difusoras obedeçam estritamente às licenças outorgadas pelo órgão regulador, passam através do ar simultaneamente sem que haja interferência entre elas. Desta forma, estas ondas podem ser separadas no receptor por estarem em frequências diferentes. Para separar somente a transmissão desejada, o filtro permite passar uma frequência desejada e bloqueia tudo que esteja fora da faixa não desejada.

A qual filtro encontrado no receptor de rádio o texto acima se refere?

a) Filtro passa-baixas.

b) Filtro passa-altas.

c) Filtro finito impulsivo.

d) Filtro infinito recursivo.

e) Filtro passa-banda.

3. O fator Q é um parâmetro importante que revela a seletividade de um dado filtro passa-banda. Você já deve saber que um filtro com maior fator Q é mais complexo na medida em que exigimos uma largura de banda cada vez mais estreita ou uma frequência central cada vez maior. Suponha que um dado filtro opere numa frequência central $f_c = 1$ MHz, tenha largura de banda $B = 100$ kHz e um fator $Q = 5$.

De acordo com o texto acima, em quantas vezes a largura de banda de um novo filtro aumentará quando se mantém o mesmo fator $Q = 5$ e mudamos a frequência central para $Q = 5$ GHz?

a) 10 vezes.

b) 20 vezes.

c) 100 vezes.

d) 500 vezes.

e) 1.000 vezes.

Seção 2.3

Linhas de transmissão

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na seção anterior, você estudou sobre o caminho inverso percorrido por um sinal que parte de uma estação transmissora. Você entendeu que a demodulação é o processo necessário para extrair a informação que está sendo transportada pela portadora. Falamos sobre dois tipos importantes de modelos de receptores e seu impacto tecnológico na indústria de receptores de difusão de rádio e TV. Apresentamos particularidades sobre os processos de demodulação específicos como AM e FM e, finalmente, fechamos a seção discutindo sobre o sistema de televisão digital.

Nesta nova seção, vamos estudar um componente utilizado para transmitir energia eletromagnética: as linhas de transmissão. Começaremos por uma rápida introdução para que você entenda as características físicas e elétricas e, em seguida, detalhes sobre o circuito equivalente que serve de modelo de comportamento de uma linha de transmissão. Posteriormente, vamos falar sobre os fenômenos de ondas estacionárias e quais problemas isso pode trazer quando se deseja transmitir o sinal de rádio com eficiência. Fechamos esta seção descrevendo a função do transformador casador de impedâncias como uma forma de corrigir o problema das ondas estacionárias.

Seus últimos empreendimentos lhe renderam uma ótima experiência na área de telecomunicações. Você conseguiu implantar uma estação de difusão de rádio e também uma estação de difusão de programas de TV. Atualmente, você está mais preocupado em obter seus rendimentos fazendo consultorias técnicas, pois possui um bom domínio do assunto. Desta vez, Renato, um cliente novo, lhe procurou reclamando de consumo excessivo de energia e outros problemas. Renato decidiu entrar no negócio de difusão de rádio e empreendeu

suas economias em uma licença para difusão de programas de rádio e em um sistema transmissor de longo alcance. Sem muitos recursos para gastar, ele decidiu economizar na implantação de sua empresa fazendo o trabalho de instalação do sistema por si próprio. Renato acreditou que iria conseguir implantar o mesmo sistema apenas investigando todos os materiais e equipamentos utilizados nas difusoras de seus concorrentes. Infelizmente, Renato não estava tendo muito sucesso em seu negócio, pois estava sofrendo com danos frequentes em seus equipamentos de transmissão e tendo alto consumo de energia. Ele reconhece agora que precisa de ajuda profissional e lhe procura para receber uma consultoria que garanta uma solução definitiva. Sua missão será encontrar uma solução simples e econômica para que ele não tenha mais problemas com o sistema de difusão. A partir dos conhecimentos que adquirir nesta seção, você vai entender qual é o problema com as linhas de transmissão do sistema do Renato. Vamos descobrir juntos durante nosso estudo sobre como utilizar e corrigir os problemas das linhas de transmissão.

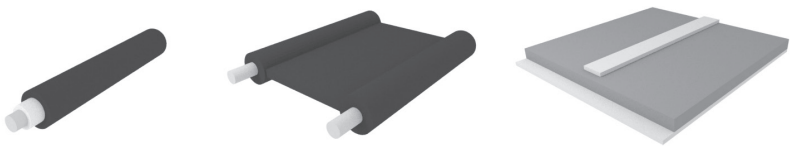
Não pode faltar

Na seção anterior, estudamos vários detalhes sobre os estágios do receptor. Você aprendeu sobre os diversos tipos de receptores e suas especificidades na demodulação. Finalmente, fechamos a seção apresentando detalhes sobre os receptores de FM e de televisão. Nesta seção, estudaremos um componente utilizado para transmitir energia eletromagnética: as linhas de transmissão. Começaremos por uma rápida introdução e, em seguida, detalhes sobre o circuito equivalente e suas características elétricas. Posteriormente, vamos falar sobre os fenômenos de potências incidentes, refletidas e ondas estacionarias. Fechamos esta seção descrevendo a função do transformador casador de impedâncias.

Linhas de transmissão e guias de onda são estruturas guiantes e longitudinais, utilizadas para o transporte de informação e energia. Em vez de ser irradiada, a onda eletromagnética é guiada a partir de uma fonte geradora para uma carga, podendo ser, por exemplo, uma guia de onda, um cabo ou fios paralelos unidos de forma helicoidal. Linhas

de transmissão são utilizadas em aplicações de baixa potência para o transporte de informação em sistemas de telecomunicações, no transporte de dados em circuitos integrados e processadores. Linhas de transmissão são compostas por uma configuração longitudinal de dois ou mais condutores imersos em um dielétrico homogêneo. Os campos elétrico e magnético são inteiramente contidos no plano ortogonal à direção de propagação configurando o que chamamos de modos transversais eletromagnéticos, de acordo com Wentworth (2009).

Figura 2.11 | Exemplos de linhas de transmissão: (a) cabo coaxial, (b) linhas paralelas e (c) microfita



(a) (b) (c)

Fonte: elaborada pelo autor.

Reflita

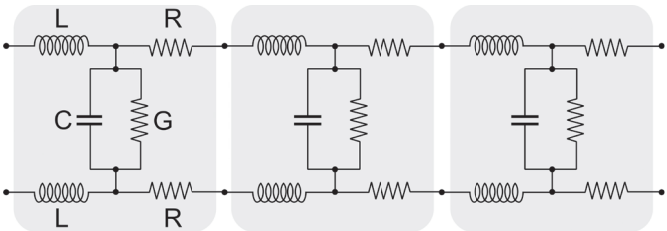
As torres de transmissão de energia em alta tensão podem ser também chamadas de linhas de transmissão? Reflita sobre as principais diferenças entre estes dois tipos de linhas de transmissão. Você consegue pensar em quais são as diferenças entre elas?

Um dos usos mais frequentes das linhas de transmissão é na transferência de energia de radiofrequência entre um transmissor e uma antena. Linhas de transmissão devem ser utilizadas, pois a energia não se propaga por um fio condutor convencional sem que haja grandes perdas. A antena pode ser encontrada em duas situações: distante do transmissor, localizada em ambiente exterior e fixada num mastro, ou conectada diretamente no transmissor. No segundo caso, as linhas de transmissão têm o único propósito de transferir a energia do transmissor para a antena com mínima perda de potência. A maneira do quão bem isso pode ser feito

depende de características físicas e elétricas especiais pertencentes à linha de transmissão. Assim, devemos primeiramente entender alguns elementos básicos. As fontes de potência e os elementos de circuito (resistores, capacitores e indutores) são conectados entre si por condutores aproximados como ideais em circuitos eletrônicos convencionais de baixa frequência. Neste caso, os condutores são considerados linhas sem perdas de comprimento desprezível e a fase do sinal na carga é igual à da fonte. Em contrapartida, condutores que operam em alta frequência têm comportamento diferente e não podem ser analisados como condutores convencionais. Os condutores passam a ser tratados como um modelo de circuito RLC, que consiste em um resistor (R), indutor (L) e um capacitor (C), que são conectados em série ou paralelo. Para representar o modelo da linha de transmissão, os três elementos de circuito R, L e C podem ser configurados em um número de diferentes topologias, de acordo com Wentworth (2009).

O modelo mais simples que representa uma linha de transmissão de linhas paralelas é formado por um circuito elétrico equivalente em forma de segmentos. Cada segmento é formado por elementos passivos R, L e C que determinam a resistência ôhmica, indutância e capacitância, respectivamente, distribuídas ao longo da linha. Além disso, é muito comum haver a representação da condutância G. Nesse caso, o termo de condutância representa a corrente de fuga através do material dielétrico. A Figura 2.12 ilustra um diagrama do modelo de circuito equivalente à linha de transmissão.

Figura 2.12 | Modelo de circuito equivalente à linha de transmissão



Fonte: elaborada pelo autor.

Desta forma, temos que na Figura 2.12, R representa a resistência, C a capacitância, L a indutância e G a condutância por unidade de comprimento. Chamamos de reatância a oposição à passagem

de corrente alternada, que pode ser capacitiva ou indutiva e tem a unidade dada em ohms. Conforme aponta Fusco (2007), duas expressões podem ser escritas como:

- reatância indutiva: $X_L = 2\pi.f.L$,
- reatância capacitiva: $X_L = \dfrac{1}{2\pi.f.C}$,

em que f é a frequência do sinal.

O parâmetro de impedância Z é representado por um número complexo, em que a parte real corresponde à resistência pura e a parte imaginária corresponde à reatância indutiva e/ou capacitiva. Conforme aponta Fusco (2007), a impedância pode ser escrita como:

$$Z = R + jX_L \text{ ou } Z = R - jX_C \ (\Omega).$$

Ainda de acordo com Fusco (2007), é importante que Z também seja representado como módulo:

$$|Z| = \left(R^2 + X_L^2\right)^{\frac{1}{2}} \text{ ou } |Z| = \left(R^2 + X_C^2\right)^{\frac{1}{2}} .$$

Estas foram as formas separadas de impedâncias puramente indutivas ou capacitivas. Você deve entender também que Z pode ser uma combinação qualquer entre L e C.

Assimile

Até agora você aprendeu os elementos básicos que constituem a linha de transmissão. Você entendeu que a linha de transmissão é representada por um modelo com três elementos de circuito R, L e C, sendo que as fontes de potência e os elementos de circuito (resistores, capacitores e indutores) são conectados entre si. Aprendeu também que os condutores operando em alta frequência passam a ser tratados como um modelo de circuito RLC, que consiste em um resistor (R), indutor (L) e um capacitor (C) conectados em série ou paralelo. Além disso, há também o elemento de condutância G, que representa a corrente de fuga através do material dielétrico.

Uma linha de transmissão pode ser descrita em termos de sua impedância. A relação entre tensão e corrente na entrada da linha é conhecida como impedância de entrada (Z_{in}). Esta é a impedância

apresentada ao transmissor pela linha de transmissão e sua carga que pode ser, por exemplo, uma antena. A relação entre a tensão e a corrente na saída da linha é conhecida como impedância de saída (Z_{out}). Esta é a impedância apresentada para a carga pela linha de transmissão e sua fonte. Considerando que uma linha de transmissão infinitamente longa pudesse ser utilizada, a relação entre a tensão e a corrente em qualquer ponto da linha de transmissão é um valor particular de impedância da própria linha. Nesta situação, o gerador alimenta a linha continuamente, porém, a energia nunca chega ao fim, onde estaria a carga. Portanto, de acordo com Fusco (2007), o gerador tem como carga apenas a impedância característica da linha e pode ser escrita como:

$$Z_0 = \left[\frac{\mathrm{R} + j2\pi f\,\mathrm{L}}{\mathrm{G} + j2\pi f\,\mathrm{C}}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Além disso, vislumbrando a existência de ondas diretas (+) e ondas reversas (-), temos que as correntes e tensões fasoriais na linha estão relacionadas pela impedância característica da linha como:

$$\frac{V^+}{I^+} = Z_0 = -\frac{V^-}{I^-}$$

A máxima e mais eficiente transferência de energia elétrica acontece quando a impedância da fonte é casada com a impedância da carga. Este fato é muito importante no estudo das linhas de transmissão e antenas. Quando a fonte excita a entrada da linha de transmissão, cada valor instantâneo sucessivo de tensão é propagado pela linha na velocidade da luz. Ondas que viajam do gerador para a carga são chamadas de ondas incidentes, e ondas viajando da carga de volta para a fonte são chamadas de ondas refletidas. Se a impedância característica da linha de transmissão e a impedância da carga são iguais, a energia do transmissor vai se propagar pela linha de transmissão até chegar à antena e será completamente absorvida. Assim, a perda de energia acontece apenas devido à resistência real da linha. Ao considerarmos uma linha casada, é possível calcular as perdas por resistência real. A atenuação $\mathrm{A}(l)$ é a perda de potência ao longo da linha e é calculada mediante a relação entre a tensão de entrada e saída. A atenuação pode ser escrita como:

$$A(l) = \frac{20\log\frac{E_{out}}{E_{in}}}{l}(dB/m)$$

em que l é o valor do comprimento da linha de transmissão. Caso a carga tenha impedância diferente da linha, parte da energia volta ao gerador pelas ondas refletidas. Além disso, poderá também ocorrer um fenômeno chamado ondas estacionárias, em que ondas refletidas transitam livremente na linha de transmissão devido às reflexões. Neste caso, a energia que o gerador recebe por reflexão é absorvida e, em alguns casos, pode danificar o estágio de saída do equipamento por excesso de dissipação de energia. Outro problema está relacionado com a diminuição do rendimento da transmissão, pois uma parte da potência deixa de ser irradiada, como aponta Fusco (2007).

Além disso, entendendo que as perdas são muito pequenas, ou desprezíveis, então os termos R e G podem ser desconsiderados em relação às reatâncias indutivas e capacitivas da linha. Desta forma, de acordo com Fusco (2007), Z_0 pode ser simplificado como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Exemplificando

Podemos dar um exemplo aplicado da formulação para um produto comercial. Trata-se do cabo RGC058 do tipo coaxial utilizado para conectar um transmissor em uma antena. As especificações para este cabo têm como capacitância $C = 101$ pF/m e $L = 252,5$ nH/m. Utilizando estes parâmetros para calcular a impedância característica do cabo, temos:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{252,5\times10^{-9}}{101\times10^{-12}}} = 50\Omega$$

Conforme discutimos anteriormente, o fenômeno da reflexão na linha de transmissão deve ser evitado para que não haja perda da eficiência de transmissão de sinal. Assim, é interessante estudarmos os casos em que condicionamos a linha em condições extremas. Sabemos que quando a carga tem o mesmo valor de impedância

que a característica da linha, $Z_0 = Z_C$, não há reflexão e a transmissão de sinal tem eficiência máxima. As condições extremas acontecem quando a linha é terminada em curto-circuito ou é deixada em aberto. Assim, podemos conhecer estas condições analisando o coeficiente de reflexão que é expresso da seguinte maneira, de acordo com Fusco (2007):

$$\rho = \frac{E_r}{E_i}$$

em que E_i é a tensão da onda incidente e E_r é a tensão da onda refletida. Quando não existe nenhuma potência refletida, concluímos que a situação ideal é quando $\rho = 0$. Caso a linha esteja em curto-circuito $\rho = -1$ e aberta $\rho = 1$. O coeficiente de reflexão também pode ser calculado em função das impedâncias da carga (Z_C) e da linha (Z_0):

$$\rho = \frac{Z_C - Z_0}{Z_C + Z_0} = \frac{(R_C \pm jX_C) - (R_0 \pm jX_0)}{(R_C \pm jX_C) + (R_0 \pm jX_0)}$$

É interessante considerar que a impedância da carga seja puramente resistiva, $Z_C = R_C$, e o módulo do coeficiente de reflexão pode ser simplificado para:

$$|\rho| = \sqrt{\frac{(R_C - R_0)^2 + X_C^2}{(R_C + R_0)^2 + X_C^2}}$$

Uma aplicação prática deste procedimento é que podemos analisar o comportamento da linha de transmissão variando R_C entre zero e infinito.

Além disso, a relação de ondas estacionárias compara as tensões da onda incidente e da refletida pela carga. De acordo com Fusco (2007), a relação de onda estacionária pode ser escrita como:

$$\text{ROE} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

Uma vez que as ondas se propagam em sentidos opostos com a mesma velocidade, a tensão sobre a linha será constante no tempo e variável com o deslocamento atingindo pontos de máximo e mínimo. A relação de onda estacionária é medida avaliando o sinal em regime senoidal fazendo se uma relação entre a tensão máxima (E_{MAX}) e mínima (E_{MIN}) na linha de transmissão. Assim, podemos escrever que a relação de onda estacionária é:

$$\mathrm{ROE} = \frac{E_{MAX}}{E_{MIN}} = \frac{|E_i| + |E_r|}{|E_i| - |E_r|}$$

Os máximos de tensão irão ocorrer em pontos da linha onde a tensão incidente está em fase com a tensão refletida. Por outro lado, os mínimos irão ocorrer em pontos da linha onda a fase está em oposição. Observe na equação que em condições extremas, linha em curto ou aberta, o valor da ROE vai para o infinito. Em condições ótimas, a ROE é próxima de um. Fazer com que a ROE se aproxime de um é o objetivo do projetista do sistema de comunicações, de acordo com Fusco (2007).

Transformadores podem ser utilizados para casar impedâncias de linhas de transmissão. Basicamente, o transformador converte uma tensão alternada de entrada para uma tensão alternada de saída de acordo com a relação de espiras existente. Exceto pelo fato de haver perdas por conversão, a potência de entrada e saída é a mesma. O lado da tensão mais baixa, que provavelmente possui o número menor de espiras, é o lado de menor impedância. No caso contrário, o lado com o maior número de espiras tem uma maior tensão em sua saída e possui alta impedância. O exemplo mais comum de transformador casador de impedâncias é o Balum de televisão. Este transformador converte um sinal de uma antena conectada com uma linha paralela (300 ohms) para uma entrada coaxial de um televisor (75 ohms). Para casar a impedância de ambos os dispositivos, os cabos devem ser conectados a um transformador casador de impedâncias com uma relação de volta de 2, de acordo com Fusco (2007). A fórmula para calcular a quantidade de voltas de um transformador é dada por:

$$\mathrm{N}_{TRANSF} = \sqrt{\frac{Z_{IN}}{Z_{OUT}}}$$

No caso do exemplo anterior, o cabo de 75 ohms é conectado ao transformador pelo lado do número menor de voltas e a linha de 300 ohms é conectada pelo lado do número maior de voltas. Desta forma, a ROE ficará próxima de 1 e as perdas, neste caso que é para recepção, serão mínimas, segundo Fusco (2007).

Pesquise mais

As linhas de transmissão podem ser balanceadas ou não balanceadas. Estas duas versões de linhas de transmissão têm propriedades interessantes no combate às interferências externas. Por exemplo, a linha balanceada oferece uma proteção significativa contra a captação de ruído e conversas cruzadas. Esta propriedade é chamada de rejeição em modo comum, e a redução do ruído por interferência pode ser significativa. Pesquise mais sobre este assunto no livro *Fundamentos de comunicação eletrônica* no Capítulo 1. Lá você deve entender o motivo da linha balanceada promover a propriedade de rejeição em modo comum (FRENZEL JUNIOR, 2013).

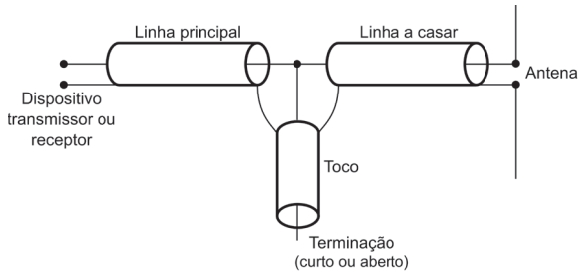
Outra forma de conseguir o casamento de impedâncias é utilizando tocos de linha construídos a partir de condutores de linhas paralelas, cabos coaxiais, microfitas ou guias de onda. Um toco ressonante é um pedaço de linha de transmissão conectada à ponta de outra linha. A ponta livre pode ser tanto um circuito aberto como um curto--circuito. Ao desconsiderar as perdas, a impedância de entrada do toco é puramente reativa. O toco pode ter propriedade indutiva ou capacitiva, que depende do comprimento da linha e se a ponta está em curto ou está aberta. Assim, as linhas de toco funcionam como capacitores, indutores e circuitos ressonantes em radiofrequência. O primeiro deste tipo de linha é o transformador de ¼ de onda. Apesar de se chamar transformador, é um pedaço de linha de transmissão e podemos considerá-lo como um componente para fazer o casamento de impedâncias. A linha tem o comprimento de exatamente ¼ de onda e geralmente é terminada por uma impedância conhecida. A relação entre a impedância característica, Z_0, a impedância de entrada, Z_i, e a impedância da carga, Z_C, é dada por:

$$\frac{Z_i}{Z_0} = \frac{Z_0}{Z_C}$$

Linhas de toco são muito utilizadas em circuitos UHF ou micro-ondas em que os comprimentos de onda são curtos o suficiente para que a construção das linhas seja conveniente. Capacitores e indutores têm desempenho pobre quando operam em frequência de micro--

-ondas devido a reatâncias parasitas e as linhas de toco podem ser utilizadas para substituí-los. Além disso, linhas de toco também são utilizadas em filtros seletivos de frequência, circuitos ressonantes para osciladores eletrônicos em UHF, amplificadores de RF e casamento de impedâncias. A Figura 2.13 ilustra uma linha de toco para fazer um casamento de impedância em linhas com impedâncias diferentes, de acordo com Fusco (2007).

Figura 2.13 | Diagrama de toco de linha utilizado para casamento de impedâncias

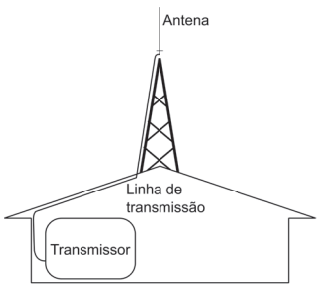


Fonte: elaborada pelo autor.

Sem medo de errar

Após um tempo de conversa, você negocia detalhes sobre a consultoria com Renato. Como este é um assunto de urgência, você concorda em fazer uma visita imediata às instalações onde fica o sistema de difusão de rádio. Ao chegar ao local, você faz uma inspeção visual e esboça um diagrama para facilitar o entendimento do problema e encontrar uma solução mais rapidamente. A Figura 2.14 ilustra o esboço do sistema de difusão de Renato.

Figura 2.14 | Diagrama do sistema de difusão de Renato



Fonte: elaborada pelo autor.

Em seguida, você volta a discutir com Renato. Primeiro você pergunta qual é o problema mais recorrente e ele lhe responde que é a queima do transmissor. A unidade de transmissão foi para a manutenção pelo menos duas vezes desde quando começou a operar o sistema. Renato reclama que o equipamento aquece muito e que a programação fica restrita a um determinado período de tempo e depois o sistema deve ser desligado para evitar o superaquecimento. Você pede a Renato alguns documentos que falam sobre especificações de componentes e equipamentos e observa os elementos descritos na tabela abaixo:

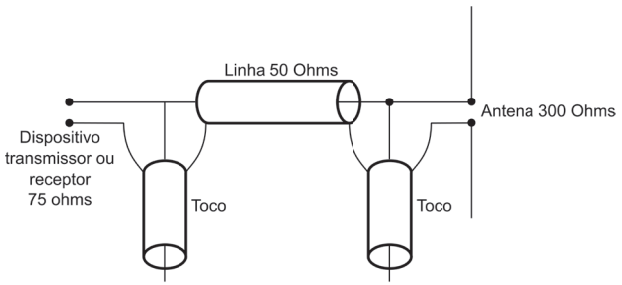
Equipamento	Marca	Impedância
Transmissor	Seriedade equipamentos	75 ohms (Saída)
Cabo	Ligação específica	50 ohms (Característica)
Antena	Custo zero tecnologia	? ohms (Entrada)

Esta tabela revela uma série de problemas. O primeiro problema está relacionado com o aquecimento do aparelho transmissor. O transmissor tem uma impedância de saída de 75 ohms e a linha conectada ao transmissor possui uma impedância característica de 50 ohms. Por conta do descasamento de impedâncias, parte da energia transmitida retorna ao transmissor e é dissipada internamente. Não faz sentido um transmissor, que por acaso é de uma marca conhecida e idônea, apresentar defeitos continuamente. O transmissor "Seriedade equipamentos" possuía características interessantes como a alteração da potência de saída em três níveis: "baixo, médio e alto". Além disso, na tentativa de aumentar o alcance, Renato havia configurado o equipamento para operar no nível mais alto de potência para conseguir atingir um alcance melhor. Assim, grande parte da energia para transmitir a programação de rádio era desperdiçada em calor e causava um grande aumento na conta de energia.

Você recomenda que Renato troque imediatamente o cabo, mas ele se recusa a fazer isso pelo menos neste momento. Ele explica que está em um momento muito difícil porque não conseguiu receita de seus clientes pelos anúncios que havia prometido em sua estação de rádio. Ele deseja uma solução simples e de custo acessível e promete que esta seria temporária, somente até conseguir recursos para comprar os componentes corretos. Você recomenda a utilização de linhas de toco, mas antes precisa avaliar a impedância da antena, que não conseguirá determinar a partir dos manuais que pesquisou.

Assim, você pede a antena para Renato para fazer uma medição de impedância. Após a medição, você descobre que a impedância da antena é de 300 ohms. Assim, você observa que a antena também não tem impedância que case com o transmissor nem com a linha atualmente utilizada. A solução então é utilizar dois tocos de linha em cada ponta da linha de transmissão. Você então projeta os tocos de linha a serem utilizados e o resultado fica como apresentado no diagrama da Figura 2.15.

Figura 2.15 | Solução utilizando linhas de toco



Fonte: elaborada pelo autor.

Após a instalação dos tocos de linha, você verifica que o transmissor não está aquecendo mais e aproveita para medir a ROE. A medição apresenta valor de ROE de 1,20, que determina um valor de perda aceitável.

Avançando na prática

Melhorando a recepção da TV

Descrição da situação-problema

Rodrigo se mudou para uma casa nova que não tinha um cabeamento para TV. Felizmente, ele é técnico em eletrônica e gosta de resolver os problemas por conta própria. Assim, ele decide comprar os materiais necessários para levar o sinal de TV de uma antena localizada no telhado da casa até a sala de televisão. Rodrigo vai até uma casa de materiais elétricos e pede 10 metros de cabo e uma antena para recepção TV em VHF. Ao chegar a

casa, ele prontamente monta a antena, estira o cabo pelos dutos da parede até o telhado e faz a ligação da linha de transmissão na TV e na antena instalada no exterior da casa. Acostumado a fazer este tipo de trabalho, Rodrigo aponta a antena para a estação transmissora para que tenha a melhor recepção. Mas desta vez, apesar da boa proximidade da estação transmissora, a recepção é bastante ruim. Ele continua tentando apontar a antena para melhorar a recepção, mas não imagina qual pode ser o problema que está acontecendo para ter uma recepção tão ruim. Como podemos ajudá-lo na resolução deste problema?

Resolução da situação-problema

Rodrigo lhe pediu ajuda para resolver o problema dele visto que você tem um conhecimento mais avançado sobre sistemas de telecomunicação. Você prontamente lhe faz uma visita para avaliar o mistério da recepção ruim, pois também não entende o motivo deste problema exatamente pelo fato da proximidade da estação transmissora de televisão. Ao chegar à casa de Rodrigo, você verifica que o cabo que ele está utilizando é um coaxial de 75 ohms e uma antena de 300 ohms. Assim, você entende que o problema da perda do sinal de recepção está relacionado com o fenômeno das ondas estacionárias. Devido ao descasamento de impedância entre a saída da antena e a linha de transmissão, existe uma perda de sinal além da perda normal, que ocorre devido à resistividade normal do cabo. A televisão tem uma entrada de 75 ohms e esta impedância já está casada com a linha de transmissão. Como aquele dia era um sábado e as lojas estavam fechadas, vocês não poderiam trocar a antena ou comprar um adaptador para fazer o casamento de impedâncias entre a antena e a linha de transmissão. Como Rodrigo é um técnico, ele tinha disponíveis algumas contas de ferrite e transformadores velhos. Os transformadores possuem condutores para construir as espiras e formar um transformador casador de impedâncias utilizando as peças de ferrite. Assim, você sabe que a relação de espiras é dada pela seguinte equação:

$$N_{TRANSF} = \sqrt{\frac{Z_{IN}}{Z_{OUT}}} = \sqrt{\frac{300}{75}} = 2$$

Logo, a relação entre espiras do transformador casador de impedâncias é de 1:2. Supondo que o primário possui 2 espiras, então o secundário terá 4 espiras. Assim, você constrói o transformador, liga o lado de mais espiras na antena e o de menos no lado da linha de transmissão. Ao ligar o aparelho de TV, você percebe que a diferença foi bastante significativa e Rodrigo fica bem satisfeito com o resultado.

Faça valer a pena

1. Linhas de transmissão e guias de onda são estruturas guiantes, longitudinais, utilizadas para o transporte de informação e energia. Em vez de ser irradiada, a onda eletromagnética é guiada a partir de uma fonte geradora para uma carga consumidora, podendo ser uma guia de onda ou um cabo ou fios paralelos unidos de forma helicoidal. Linhas de transmissão são utilizadas em aplicações de baixa potência para o transporte de informação em sistemas de telecomunicações, no transporte de dados em circuitos integrados e processadores.

De acordo com seu entendimento sobre linhas de transmissão, marque a alternativa correta que indica outra aplicação.

a) Transporte de fluido.

b) Transporte de alta tensão.

c) Apenas dissipação de corrente.

d) Dissipação de tensão.

e) Geração de alta tensão.

2. Um dos usos mais frequentes das linhas de transmissão é a transferência de energia de radiofrequência entre um transmissor e uma antena. Linhas de transmissão devem ser utilizadas, pois a energia não se propaga por um fio condutor convencional sem que haja grandes perdas. A antena pode ser encontrada em duas situações: distante do transmissor, localizada em ambiente exterior e fixada num mastro, ou conectada diretamente no transmissor. No primeiro caso, as linhas de transmissão têm o único propósito de transferir a energia do transmissor para a antena com mínima perda de potência. A maneira do quão bem isso pode ser feito depende

de características físicas e elétricas especiais pertencentes à linha de transmissão.

As linhas de transmissão podem ser modeladas de acordo com o comportamento de alguns elementos elétricos. Marque a alternativa que possui a lista destes elementos elétricos.

a) Resistor, capacitor e indutor.

b) LED, resistor e bateria.

c) Transistor, capacitor e indutor.

d) Capacitor, diodo e transistor.

e) Resistor, diodo e capacitor.

3. José está projetando a entrada de um circuito que recebe um sinal. O sinal que está na faixa de 40 MHz está sendo corrompido por uma interferência de 1 MHz. Uma solução simples seria derivar da linha principal um capacitor para o terra e desviar o sinal de 1 MHz para fora do sistema. José determina que a impedância deva ser de 1 ohm para a frequência de 1 MHz.

Marque a alternativa correta que indica o valor do capacitor utilizado na solução do problema.

a) 15 nF.

b) 20 nF.

c) 159 nF.

d) 12,2 nF.

e) 30 nF.

Referências

BEDICKS JUNIOR, Gunnar. **Sintonizador-demodulador para o sistema brasileiro de Tv digital**. 2008. 169 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FISCHER, Walter. **Digital video and audio broadcasting technology**. 3. ed. München: Springer, 2010.

FUSCO, Vincent F. **Teoria e técnicas de antenas**: princípios e prática. São Paulo: Artmed, 2007.

HAMILTON, Almeida. **Landell de Moura**. 4. ed. Porto Alegre: Tche!, 1984.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de comunicação**: analógicos e digitais. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2004.

JOBSTRAIBIZER, Flávia. **Desvendando as redes sem fio**. São Paulo: Digerati Books, 2010.

LATHI, B. P. **Modern digital and analog communication systems**. 4. ed. London: Oxford University Press, 2010.

NETO, Nestor Weldhelm. **Como fazer ordem de serviço**. Disponível em: <http://segurancadotrabalhonwn.com/como-fazer-ordem-de-servico/>. Acesso em: 9 maio 2017.

NR 12. Norma Regulamentadora 12. **Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Disponível em: <http://www.ogmoitajai.com.br/portal/legislacao/normas_regulamentadoras/NR12 .pdf >. Acesso em: 11 maio 2017.

O'SHEY, Tim. **Marconi and Tesla**: pioneers of radio communication. United State Of America: Enslow Publishers, 2008.

RANGEL, Djalma Araújo et al. Aumento da eficiência produtiva através da redução do tempo de setup: aplicando a troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor de bebidas. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, 2012, p. 36-49.

REIS, Roberto Salvador. **Segurança e saúde no trabalho**: Normas Regulamentadoras. 10. ed. São Paulo: Yendis, 2012.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **NR-12**: segurança em atividades com máquina injetora de materiais plásticos. São Paulo: SENAI – SP Editora, 2014.

SESI. Serviço Social da Indústria. **Segurança de máquinas e equipamentos de trabalho**: meios de proteção contra os riscos mecânicos. Rio de Janeiro: Grafitto, 2012.

FRENZEL JUNIOR, Louis. **Fundamentos de comunicação eletrônica**: linhas, micro-ondas e antenas. Porto Alegre: Amgh, 2013.

WENTWORTH, Stuart. **Eletromagnetismo aplicado**: abordagem antecipada das linhas de transmissão. Porto Alegre: Artmed, 2009.

Meios de comunicação

Convite ao estudo

Caro estudante,

Gostaríamos de convidá-lo para uma nova etapa em seus estudos e obter um conhecimento mais abrangente na área de telecomunicações. Nesta unidade, vamos ter acesso a informações sobre a área de sistemas de comunicação via rádio, fibra óptica e satélite. Desta vez, queremos que você conheça e diferencie os diversos sistemas que surgiram com o advento da banda larga, tais como: fibra óptica, cabo, rádio, 4G e satélite. Vamos apresentar diversos problemas existentes nestes sistemas e lhe fornecer subsídios para resolvê-los.

Entender bem estes problemas pode lhe colocar em uma posição estratégica no mercado de trabalho. Várias áreas da tecnologia estão convergindo rapidamente como resultado do acelerado progresso tecnológico e isso também faz crescer a demanda por profissionais desta área. Por trás da simplicidade de nossas aplicações cotidianas, existe um complexo sistema de coleta, transporte, armazenamento e processamento de informações. Por exemplo, ramos de empresas que estão separadas por grandes distâncias permanecem coesos devido à tecnologia de telecomunicações, fazendo com que o espaço não seja o mesmo problema que representou no passado. Logo, a demanda por formas de processamento de informações ainda mais sofisticadas é crescente na medida em que também se aumenta a necessidade de colher, processar e distribuir informações. Estudantes devem ter isso em mente se quiserem conquistar um futuro profissional de sucesso.

Dentro do contexto desta unidade nós vamos entender como funcionam os vários meios de comunicação e suas

características típicas. Na Seção 3.1, vamos estudar sobre sistemas de comunicação via rádio. Apresentaremos noções básicas sobre transmissor e receptor, o fenômeno da onda eletromagnética e seus mecanismos de propagação e características gerais das faixas de frequência. Na Seção 3.2, vamos estudar sobre os sistemas de comunicação por fibra óptica. Começaremos apresentando parâmetros característicos destes sistemas, seus componentes básicos e informações específicas sobre os enlaces ópticos. Vamos, em seguida, abordar os tipos de modulação mais comuns. Depois, entenderemos o que é a multiplexação e sua importância para concentrar múltiplos canais de comunicação. Na Seção 3.3, vamos abordar os sistemas de comunicação via satélite. Começaremos por apresentar os conceitos básicos sobre os satélites e, em seguida, falalaremos sobre estes equipamentos e suas funções principais. Em seguida, abordaremos o que são órbitas e quais são os tipos comuns utilizados nestes sistemas. Depois, abordaremos características específicas sobre o balanço de enlace em sistemas de satélites. Fecharemos a seção tratando dos tipos de acesso existentes.

Você é um consultor importante da área de telecomunicações e oferece seus serviços para diversos tipos de empresa. Na área de sistemas de telecomunicações, o seu atendimento é bem abrangente, oferecendo soluções para as três grandes áreas de sistemas de comunicação: via rádio, fibra óptica e satélite. Frequentemente, seus clientes lhe procuram para consultas esperando obter soluções.

Vamos nessa? Boa sorte!

Seção 3.1

Sistemas de comunicação via rádio

Diálogo aberto

Caro estudante,

Na seção anterior, você estudou sobre o funcionamento das linhas de transmissão e apresentamos o modelo de circuito equivalente, que pode ser utilizado para controlar o comportamento da linha quando desejamos guiar um sinal. Você também aprendeu sobre a utilidade das linhas de transmissão e conheceu os parâmetros elétricos que a caracterizam. Em seguida, apresentamos detalhes sobre o que são as ondas estacionárias, os problemas que este fenômeno causa na linha e como corrigi-los.

Nesta nova seção, vamos descrever os mecanismos básicos que governam a propagação de ondas eletromagnéticas. Começaremos pelo caso mais básico de propagação, que consiste em uma antena transmissora e uma antena receptora no espaço livre. Em seguida, introduziremos aspectos dos cenários mais realísticos com a presença de obstáculos que causam reflexão e alteram as características de propagação do meio. Finalmente, estudaremos a influência dos efeitos de difração sobre a propagação.

Sua carreira tem estado em boa forma, devido aos seus últimos empreendimentos, que lhe renderam uma considerável experiência na área de telecomunicações. Além de suas consultorias, seu curriculum conta com projetos na área de difusão de rádio e TV. Atualmente, você está mais inclinado a fazer consultorias técnicas com projetos maiores. Desta forma, como um consultor importante da área de telecomunicações, você ajuda a comunidade da sua região a crescer neste nicho de negócios. Na área de sistemas de telecomunicações, o seu atendimento é bem abrangente, oferecendo soluções para as três grandes áreas de sistemas de comunicação: via rádio, fibra óptica e satélite.

Manoel, que possui uma rádio difusora de FM, graças aos seus serviços, deseja estender sua cobertura de programas de rádio para

uma cidade vizinha. Uma questão importante deste problema é a implantação de um sistema de comunicação em uma área com relevo bastante acidentado. Trata-se de um link do sinal de difusão de rádio FM e você precisa planejar o sistema transmissor, receptor e saber qual faixa é a mais adequada para a operação. Sua missão será encontrar uma solução para os tipos de problemas de propagação que poderão ocorrer neste terreno. A partir dos conhecimentos que adquirir nesta seção, você vai entender como lidar com a degradação do sinal causada pelos mecanismos de propagação neste tipo de terreno.

Vamos lá?

Não pode faltar

O caso mais simples de mecanismo de propagação considera a existência de uma antena transmissora e uma antena receptora no espaço livre. Desta configuração, podemos derivar a potência recebida em função da distância. A lei da conservação de energia dita que a integral da densidade de potência sobre qualquer superfície fechada ao redor de uma antena transmissora deve ser igual à potência transmitida. Se a superfície fechada for uma esfera de raio R, centrada em uma antena transmissora isotrópica, então a densidade de potência sobre a superfície é dada por $P_{TX} / (4\pi R^2)$. Supomos que uma antena receptora tenha uma "área efetiva" A_{RX}. Assim, podemos imaginar que toda a potência que atinge esta área é absorvida pela antena receptora. Então, a potência recebida é dada por:

$$P_{RX}(R) = P_{TX} \frac{1}{(4\pi R^2)} A_{RX} \quad (3.1)$$

Se for utilizada uma antena transmissora não isotrópica, então a densidade de energia tem que ser multiplicada por um ganho de antena G_{RX} na direção da antena receptora:

$$P_{RX}(R) = P_{TX} G_{TX} \frac{1}{(4\pi R^2)} A_{RX} \quad (3.2)$$

O produto da potência e do ganho na direção considerada é também chamado de Potência Equivalente Isotropicamente Irradiada (EIRP), ou *Equivalent Isotropically Radiated Power*. A área efetiva da

antena é proporcional à potência medida a partir do conector da antena para uma dada densidade de energia, de acordo com Molisch (2011).

Reflita

É intuitivo entender que uma antena parabólica tem área efetiva de antena aproximadamente igual à área geométrica de uma superfície. Mas e quanto a antenas com uma área geométrica muito pequena, como as antenas dipolo? Estas também podem ter uma área efetiva considerável?

Além disso, há uma relação simples entre a área efetiva e o ganho de antena, então:

$$G_{RX} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{RX} \quad (3.3)$$

em que λ é o comprimento de onda. O mais notável na equação (3.3) é o fato de que – para uma área fixa de antena – o ganho aumenta com a frequência. Ao substituir a equação (3.3) na equação (3.2), obtém-se a potência recebida como uma função da distância d no espaço livre, também conhecida como lei de Friis:

$$P_{RX}(R) = P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (3.4)$$

O fator $\left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$ é também conhecido como perda no espaço livre.

A validade da lei de Friis é restrita ao campo distante da antena, ou seja, as antenas transmissora e receptora têm de estar afastadas pelo menos o equivalente a uma vez a distância de Rayleigh, também conhecida como distância de Fraunhofer, a qual é definida, conforme Molsch (2011):

$$d_R = \frac{2L_a^2}{\lambda} \quad (3.5)$$

onde L_a^2 é a maior dimensão da antena. Além disso, o campo distante requer que $d >> \lambda$ e $d >> L_a$.

Exemplificando

Podemos calcular a distância de Rayleigh de uma antena quadrada com $G_{RX(dB)} = 20$ dB de ganho. Logo, em escala linear, sabemos que o ganho é $G_{RX} = 100$. Neste caso, a área efetiva é de aproximadamente

$$A_{RX} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{RX} \approx 8\lambda^2 .$$

Supomos então que temos uma antena com formato de área quadrada, isto é, $A_{RX} = L_a^2$, a distância de Rayleigh é dada por:

$$d_R = \frac{2 \cdot \left(8\lambda^2\right)}{\lambda} = 16\lambda$$

Logo, pode-se considerar que se está em campo distante para esta situação quando a antena receptora está a mais de 16λ de distância da antena transmissora.

Escrever a lei de Friis em uma escala logarítmica é muito conveniente para contabilizar o balanço do enlace:

$$P_{RX}\,|_{dBm} = P_{TX}\,|_{dBm} + G_{TX}\,|_{dB} + G_{RX}\,|_{dB} + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) \quad (3.6)$$

em que $|_{dB}$ significa unidades em dB. Podemos desenvolver a equação (3.6) para encontrar uma forma mais simplificada da soma de parâmetros como:

$$P_{RX}\,|_{dBm} = P_{TX}\,|_{dBm} + G_{TX}\,|_{dB} + G_{RX}\,|_{dB} + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) - 20\log\left(R\right) \quad (3.7)$$

Assim, quando definimos uma frequência específica, o termo $20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)$ torna-se um valor numérico e $P_{RX}\,|_{dBm}$ fica apenas em função de R. Para uma frequência de 900 MHz temos que $20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) = -31{,}5$ dB e para 1800 Mhz temos que $20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) = -37{,}5$ dB.

Outro aspecto importante nos sistemas de comunicação via rádio é a presença de obstáculos. As ondas eletromagnéticas são frequentemente refletidas por um ou mais obstáculos antes de

chegarem à antena receptora. O coeficiente de reflexão de um obstáculo, assim como a direção a qual esta ocorre, determina a potência que chega até o receptor. Nesta seção, nós vamos lidar com reflexões especulares. Este tipo de reflexão ocorre quando as ondas são incidentes em objetos com uma superfície lisa e grande (quando comparada ao comprimento de onda). Elementos responsáveis por reflexão são de bastante interesse, uma vez que influenciam na determinação da potência recebida em um dado ponto. Por exemplo, quando existem reflexões em plano terra e/ou reflexões em terrenos acidentados como montanhas, a equação de Friis não pode ser utilizada diretamente por não prever a existência de tais elementos, de acordo com Molisch (2011).

Desta forma, outra lei conhecida dos sistemas de comunicação diz que a potência de um sinal recebido é inversamente proporcional ao quarto da distância entre o transmissor e o receptor, como aponta Molisch (2011). Esta lei é justificada pelo cálculo da potência recebida quando existe onda direta (linha de visada) e outra onda refletida pelo chão. Para este caso podemos escrever a seguinte equação:

$$P_{RX}(R) \approx P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left(\frac{h_{TX} h_{RX}}{R^2} \right)^2 \quad (3.9)$$

onde h_{TX} e h_{RX} são as alturas das antenas transmissora e receptora, respectivamente. Isso é válido para distâncias maiores que:

$$d_{\lim} > \frac{4 h_{TX} h_{RX}}{\lambda} \quad (3.10)$$

Esta equação, que complementa a lei padrão de Friis, implica que a potência recebida torna-se independente da frequência. Além disso, na equação (3.9), a potência recebida aumenta com o quadrado do produto das alturas da antena transmissora e receptora. Para distâncias $d < d_{\lim}$, a lei de Friis permanece aproximadamente válida, de acordo com Molisch (2011).

Para o balanço do enlace, é útil reescrever a lei da potência como escala logarítmica. Assumindo que a potência decai como d^{-2} até o ponto limite $d_{\lim}$, e a partir de então d^{-n}, então a potência recebida é dada por:

$$P_{RX(PT)} = P_{RX}\big|_{R=1m} - 20\log(d_{\lim}) - n10\log(R / d_{\lim}) \quad (3.11)$$

Assimile

A forma simplificada da equação (3.7) é muito conveniente para um cálculo rápido em frequências conhecidas. É bastante útil quando se precisa saber a potência recebida com alguns parâmetros dados instantaneamente. Lembrem-se que para a frequência de 900 Mhz temos:

$$P_{RX}\,|_{dBm} = \left(P_{TX}\,|_{dBm} + G_{TX}\,|_{dB} + G_{RX}\,|_{dB}\right) - 31{,}5 - 20\log\left(R\right).$$

Para a frequência de 1800 Mhz temos:

$$P_{RX}\,|_{dBm} = \left(P_{TX}\,|_{dBm} + G_{TX}\,|_{dB} + G_{RX}\,|_{dB}\right) - 37{,}5 - 20\log\left(R\right).$$

Pesquise mais

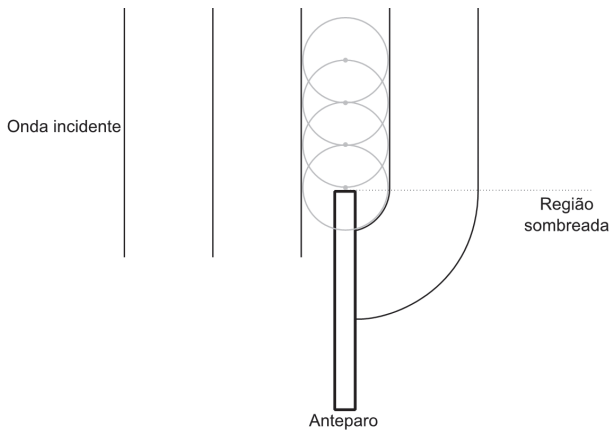
Os modelos de propagação estudados foram o espaço livre e a terra plana, os quais são as abordagens mais simples para calcular a potência de um sinal recebido no transmissor. Existem vários outros métodos, conhecidos como modelos empíricos, elaborados a partir de resultados obtidos em experimentos e medição. Um dos mais famosos é o modelo de Hata-Okumura. Pesquise mais sobre os mecanismos de propagação consultando o livro *Sistemas modernos de comunicações wireless* no capítulo 2. Lá você vai entender como funcionam os mecanismos de propagação por modelos estatísticos (HAYKIN; MOHER, 2008).

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas modernos de comunicações wireless**. São Paulo: Bookman, 2008.

Vamos falar agora sobre as perdas ocasionadas pela difração. A difração é um fenômeno que acontece quando uma onda encontra um obstáculo. Este fenômeno é descrito por uma aparente flexão das ondas quando encontram obstáculos com dimensões próximas às do comprimento de onda. A onda, de certa forma, consegue contornar o obstáculo e atinge regiões em que, pela óptica geométrica, não deveria haver energia eletromagnética. Este efeito ocorre conforme o princípio de Huygen, o qual diz que cada elemento de uma frente de onda em um dado ponto no tempo deve ser considerado como o centro de um distúrbio secundário, que é outro ponto para o surgimento de uma nova subonda esférica. A posição da nova frente de onda a qualquer momento posterior deve ser o envelope de todas as subondas produzidas, de acordo com Saunders e Zavala (2007).

Neste caso, considerando o que entendemos sobre o princípio de Huygen, é possível predizer o comportamento da difração sobre um anteparo ou "gume de faca", de acordo com Saunders e Zavala (2007). A Figura 3.1 mostra como ondas planas propagando pelo lado esquerdo incidem sobre a fronteira e se curvam penetrando a fronteira da região sombreada. Dentro da região sombreada, os raios parecem emergir de um ponto próximo do canto, preenchendo a região sombreada com raios difratados.

Figura 3.1 | Princípio de Huygen para a difração por gume de faca.



Fonte: elaborada pelo autor.

O resultado final pode ser entendido como uma perda de propagação, a qual é expressa pela redução da força do campo devido ao processo de difração gume de faca, como apontam Saunders e Zavala (2007). A atenuação é escrita em função do parâmetro de difração v como:

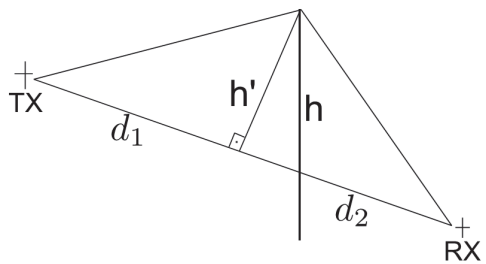
$$L_{GF}(v) = -20\log\left(\left|\frac{E_d}{E_i}\right|\right) = -20\log\left|F(v)\right| \quad (3.12)$$

em que E_d é o campo difratado, E_i é o campo incidente e $F(v)$ é uma função que envolve o cálculo de números complexos. A função é geralmente resolvida numericamente por uma rotina padrão de cálculo das integrais de Fresnel, ou por aproximação, quando $v > 1$.

$$L_{GF}(v) \approx -20\log\frac{1}{\pi v\sqrt{2}} \approx -20\log\frac{0,225}{v} \quad (3.13)$$

Outro valor conveniente é quando $L_{ke}(0) = 6$ dB, isto é, a potência recebida é reduzida por um fator de 4 vezes quando o gume de faca está situado exatamente na linha de visada entre o transmissor e o receptor, de acordo com Saunders e Zavala (2007). Outra forma de expressar o parâmetro v é em termos de parâmetros geométricos, conforme ilustrado pela Figura 3.2.

Figura 3.2 | Parâmetro de difração em termos geométricos



Fonte: elaborada pelo autor.

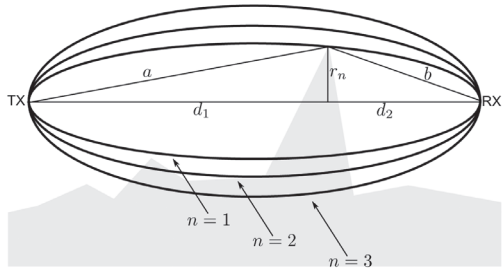
Neste caso, temos que:

$$v = h'\sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Onde h é a altura do obstáculo responsável pela difração da frente de onda, h' é o excesso de altura, ou seja, a altura que ultrapassa a linha direta entre o transmissor e o receptor. Para muitos casos práticos, sendo d_1 ou $d_2 >> h$, pode-se considerar que $h' \approx h$.

Outra maneira útil de se considerar a difração gume de faca é em termos da obstrução das zonas de Fresnel em torno do raio direto, conforme ilustrado pela Figura 3.3.

Figura 3.3 | Zonas de Fresnel



Fonte: elaborada pelo autor.

A n-ésima zona de Fresnel é a região interior de uma elipsoide definida pelos pontos locais, onde a distância (a + b) é maior que o percurso direto entre o transmissor e o receptor ($d_1 + d_2$) por n $\frac{\lambda}{2}$. Portanto, o raio da n-ésima zona r_n é dado pela aplicação da condição:

$$a + b = d_1 + d_2 + \frac{n\lambda}{2}$$

Se assumirmos que $r_n << d_1$ e $r_n << d_2$, então uma boa aproximação é dada por:

$$r_n \approx \sqrt{\frac{nd_1d_2}{d_1 + d_2}}$$

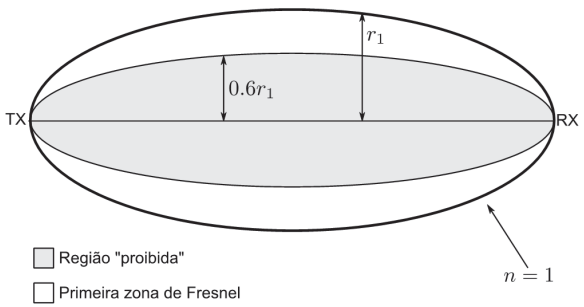
Os sinais mais fortes estão na linha direta entre o transmissor e o receptor e sempre se encontram na primeira zona de Fresnel. O efeito da perda por obstrução é reduzido quando se remove o obstáculo da linha de visada. Além disso, existem outros sinais refletidos das superfícies locais (terreno liso ou corpos d'agua) que podem chegar fora de fase e são parte das demais zonas de Fresnel. Dependendo da fase em que o sinal chega ao receptor, pode haver combinação construtiva ou destrutiva que pode melhorar ou piorar a recepção, de acordo com Saunders e Zavala (2007). A zona livre de Fresnel (h / r_n) pode ser expressa em termos do parâmetro de difração v como:

$$v \approx h\sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \frac{h}{r_n}\sqrt{2n}$$

Quando a obstrução ocupa 40% da primeira zona de Fresnel ou $0,6.r_1$, o parâmetro v é então aproximadamente -0.8. Nesta ocasião,

a perda por obstrução é então 0 dB. Esta avaliação é frequentemente utilizada como um critério para decidir se um objeto deve ser tratado como uma obstrução significativa ou não. Portanto, esta sub-região dentro da primeira zona de Fresnel, conforme mostra a Figura 3.4, pode ser considerada como uma região proibida. Se esta região for mantida livre, então a atenuação total de percurso pode ser considerada praticamente como se fosse o caso sem obstrução, como apontam Saunders e Zavala (2007).

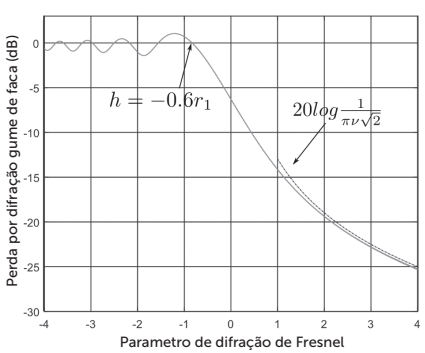
Figura 3.4 | Região proibida na primeira zona de Fresnel



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 3.5 ilustra um gráfico resultante do cálculo numérico da equação (3.12) em vermelho, a função de aproximação em azul da equação (3.13) e o ponto exato em que a atenuação é 0 dB na primeira região de Fresnell.

Figura 3.5 | Atenuação por difração gume de faca

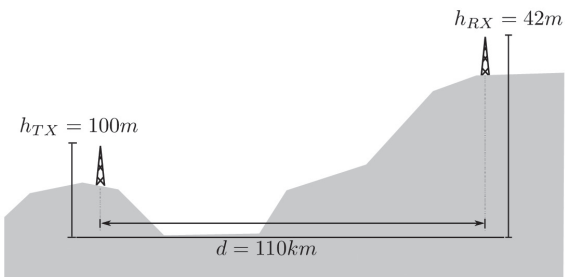


Fonte: elaborada pelo autor.

Sem medo de errar

Você se encontra com Manoel e começa a negociar os detalhes sobre a consultoria. Desta vez, este assunto não é de urgência e o plano pode prosseguir com calma para que todos os detalhes sejam avaliados. Você concorda com o cliente que seria uma boa ideia passear de carro pela região em que se deseja fazer a nova difusão do sinal de rádio FM. A cidade fica a 110 quilômetros da estação de rádio principal e Manoel deseja apenas implementar uma estação retransmissora. Ele também traz alguns dados da topologia do terreno entre a cidade principal e a vizinha, conforme mostra a Figura 3.6.

Figura 3.6 | Topologia do terreno onde se deseja instalar um link de rádio



Fonte: elaborada pelo autor.

A antena da estação transmissora está em uma elevação de 100 metros, enquanto a estação receptora está em uma elevação de 42 metros. Além disso, é importante considerar a faixa de frequência a ser transmitida. Manoel possui uma licença para transmitir com um link em 950 MHz, logo, calculamos o comprimento de onda como:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{950\times10^6} = 0,3158\text{m}$$

Neste momento, já é possível calcular a atenuação por distância pelo modelo plano terra, logo, a distância limite é:

$$d_{\lim} = \frac{4h_{TX}h_{RX}}{\lambda} = \frac{4\times100\times42}{0,3158} = 53200\text{m}$$

Como as cidades estão a uma distância de mais de 100 quilômetros, então o modelo plano terra pode ser utilizado para o

cálculo do balanço do enlace. Assim, temos que a atenuação devida à distância é:

$$L = -P_{RX}\Big|_{R=1m} - 20\log(d_{\lim}) - n10\log(R/d_{\lim})$$

Para este terreno podemos considerar que n = 4. Logo, substituindo valores, temos:

$$L = -32 - 94,5 - 12,6 = -139,1\text{dB}$$

Quando Manoel observa a atenuação à primeira vista, se preocupa. Você acalma Manoel e diz que o planejamento ainda não havia terminado. Ainda falta determinar o transmissor e as antenas a serem utilizadas. Você prontamente disponibiliza uma tabela mostrando kits de links de FM.

Transmissor	Ganho TX	Ganho RX	Pot. saída	Ruído RX	Preço
Efetivo	16 dB	16 dB	50 W	-65 dB	1.000
Luxo	16 dB	16 dB	200 W	-65 dB	5.000

Você começa, então, a calcular o balanço de enlace utilizando o transmissor efetivo. Desta forma, a equação fica:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{RX} + G_{TX} - L$$

A potência do transmissor é dada em Watts, logo, podemos calcular a potência em escala logarítmica como:

$$P_{TX} = 10\log(50000) = 47\text{dBm}$$

Portanto, a potência total recebida é de:

$$P_{RX} = 47 + 16 + 16 - 139,1 = -60dBm$$

Sendo o nível de ruído do receptor igual a -65 dB, então podemos calcular a relação sinal/ruído,

$$SNR = -60 - (-65) = 5\text{dB}$$

Fazendo os mesmos procedimentos com os parâmetros do transmissor Luxo listado na tabela, temos que a relação sinal-ruído é:

$$SNR = 10\text{dB}$$

Manoel não sabe decidir como investir apenas observando a qualidade do sinal recebido. Ele apenas sabe que pode comprometer

a qualidade da programação se transmitir o sinal com ruído desde a fonte. Felizmente, você tem disponível um simulador que mostra a qualidade de áudio quando está sujeito a ruído. Você prepara duas versões, uma com 10 dB e outra com 5 dB de SNR. Manoel ouve e compara as duas amostras e conclui que uma SNR de 5 dB não era tão ruim assim. Logo, fica decidido que o kit efetivo será comprado e a construção do link de FM será começada em breve.

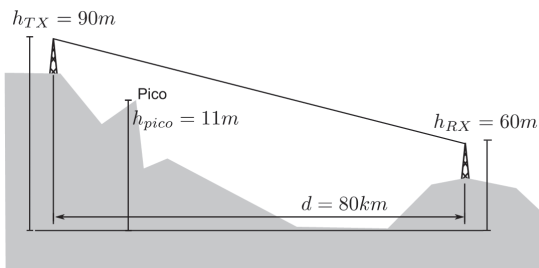
Avançando na prática

O pico e a difração

Descrição da situação-problema

Você estava com Manoel discutindo sobre a estação retransmissora que tinham acabado de planejar. Neste mesmo dia, Manoel lhe apresentou Josias, que precisava fazer o mesmo tipo de serviço. Desta vez, o mesmo trabalho precisa ser feito de uma cidade principal para a cidade vizinha, onde vocês estão reunidos neste momento. Você decide que também seria uma boa ideia passear de carro pela região onde se deseja fazer a nova difusão do sinal de rádio FM. De maneira semelhante, a cidade fica a 80 quilômetros da estação de rádio principal, e Josias deseja também apenas implementar uma estação retransmissora. O problema é que a situação é um pouco diferente e a topologia do terreno entre a cidade principal e a vizinha tem outra forma, conforme mostra a Figura 3.7.

Figura 3.7 | Topologia do terreno onde se deseja instalar um link de rádio



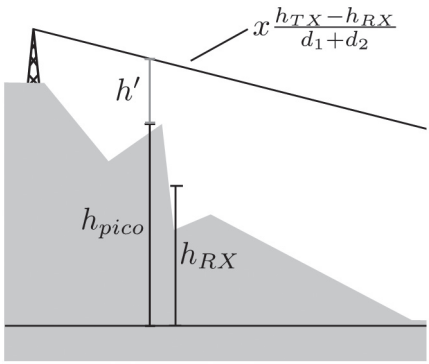
Fonte: elaborada pelo autor.

A antena da estação transmissora está em uma elevação de 90 metros, enquanto a estação receptora está em uma elevação de 60 metros. O pico da montanha tem uma altura de 11 metros e fica a 10 quilômetros de distância da estação transmissora. Desta vez, Josias possui uma licença para transmitir com um link em 930 MHz. Como poderemos ajudá-lo nesta nova missão?

Resolução da situação-problema

O mesmo procedimento de cálculo feito para Manuel é feito para Josias. O problema é que existe a possibilidade de também haver atenuação por difração por causa do pico de uma montanha que fica próximo da linha de visada do enlace. Devemos então primeiro encontrar a distância do pico da montanha até a linha de visada, de acordo com o diagrama da Figura 3.8.

Figura 3.8 | Excesso de h' em relação à linha de visada



Fonte: elaborada pelo autor.

$$h' = h_{pico} - h_{RX} - d_1 \frac{h_{TX} - h_{RX}}{d_1 + d_2} = -52,75$$

Neste caso, $d_1 = 10000$, $d_2 = 70000$ e $h_{pico} = 11$. Veja que h' é negativo e isso significa que o pico da montanha está abaixo da linha de visada. Assim, vamos encontrar o parâmetro de difração começando pelo cálculo do raio da primeira zona de Fresnel:

$$r_1 \approx \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = 93,54$$

Em seguida, o parâmetro de Fresnel é calculado como:

$$v = \frac{h}{r_1}\sqrt{2} = -0,7975$$

Note que $v \approx -0,8$, o que significa que a obstrução ocupa 40% da primeira zona de Fresnel, ou $0,6.r_1$. Logo, a perda por obstrução é 0 dB e a difração não precisa ser considerada.

Faça valer a pena

1. A fórmula de Friis (ou lei de Friis) é muito utilizada em engenharia de telecomunicações. Esta lei relaciona a potência transmitida considerando ganhos de antena e perdas por propagação em condições ideais. A validade da lei de Friis é restrita ao campo distante da antena, ou seja, as antenas transmissora e receptora têm de estar afastadas pelo menos o equivalente a uma vez a distância de Rayleigh.

Para o caso de um sistema que transmite um sinal em 950 MHz e uma antena com $L_a = 1m$, calcule a distância de Rayleigh e marque a alternativa correta.

a) 3,1 m.

b) 10,3 m.

c) 6,3 m.

d) 5,6 m.

e) 1,2 m.

2. Uma câmara anecoica é um ambiente controlado que absorve os sinais de rádio e evita o fenômeno de reflexão. Esta câmara simula, por exemplo, o efeito da propagação de ondas eletromagnéticas no espaço. Este é um dispositivo muito importante para testar equipamentos sem fio e avaliar seu desempenho. Para um sistema de transmissão temos que $P_{TX} = 10$ dBm, $G_{TX} = 2$ dB, $G_{RX} = 5$ dB. O sistema opera em 2.4 GHz e a uma distância de 1,5 metro tem uma atenuação de -35.5 dB.

Para as informações consideradas no texto acima, calcule a potência recebida em dBm.

a) -40.7 dBm.

b) -80.5 dBm.

c) -10.3 dBm.

d) -18.5 dBm.

e) -11.9 dBm.

3. Sabemos que a Lei de Friis é dependente da frequência do sinal transmitido. Por outro lado, outra lei conhecida dos sistemas de comunicação diz que a potência de um sinal recebido é inversamente proporcional ao quarto da potência da distância entre o transmissor e o receptor. Neste caso, uma aproximação considera as alturas do transmissor e do receptor em vez do comprimento de onda. Esta lei é justificada pelo cálculo da potência recebida quando existe onda direta (linha de visada) e outra onda refletida pelo chão. Chamamos este mecanismo de plano terra.

Considere um sistema de transmissão com $h_{TX} = 10$ m, $h_{RX} = 20$ m e uma frequência de 443 MHz. Calcule a distância limite e marque a alternativa correta.

a) 2,1 km.

b) 10,2 km.

c) 7,1 km.

d) 11,8 km.

e) 1,18 km.

Seção 3.2

Sistemas de comunicação por fibra óptica

Diálogo aberto

Caro aluno, na seção anterior, você estudou os mecanismos básicos que governam a propagação de ondas eletromagnéticas. Começamos pelo caso mais básico de propagação, que consiste em uma antena transmissora e uma antena receptora no espaço livre. Em seguida, introduzimos aspectos dos cenários mais realísticos com a presença de obstáculos que causam desvios e alteram as características de propagação do meio. Finalmente, fechamos a seção com o estudo dos efeitos de difração sobre a propagação.

Nesta nova seção, vamos estudar os componentes de um sistema de comunicação por fibra óptica. Vamos, inicialmente, conhecer os blocos que compõem um sistema de comunicação e o meio pelo qual o sinal é guiado: a fibra óptica. Em seguida, aprenderemos sobre os tipos mais comuns de modulação nestes sistemas e particularidades sobre os métodos de conversão do domínio analógico para o digital. Fechamos a seção falando sobre os diferentes tipos de multiplexação e sua utilização para formar hierarquias digitais.

Antônio possui uma empresa que faz difusão de sinais de TV utilizando infraestrutura de cabos. Ele tem um plano para expandir o sistema para uma nova área da cidade que está em construção. Trata-se de um bairro em área residencial de alto padrão que será habitado por clientes potencialmente exigentes. Antônio prefere uma abordagem mais conservadora e acredita que a expansão deve continuar com uma infraestrutura baseada em cabos metálicos. Você tem uma visão melhor de futuro e acredita que para esta clientela o uso de infraestrutura por fibra óptica será um sucesso, e o retorno será mais lucrativo. Assim, sua missão será apresentar o sistema de comunicações por fibra óptica e convencê-lo de que esta é a melhor solução.

Vamos lá?

Não pode faltar

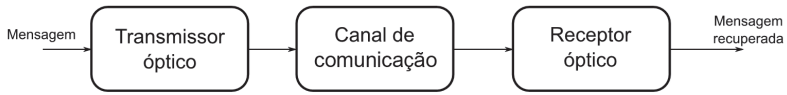
Sistemas de comunicação óptica diferem em princípio dos sistemas de micro-ondas devido à faixa de frequência da onda portadora utilizada para carregar a informação. As portadoras típicas são de aproximadamente 200 THz, contrastando com as portadoras de micro-ondas, que estão em torno de 1 GHz. Um aumento na capacidade de informação para sistemas de comunicação ópticos a um fator de até 10.000 vezes é esperado simplesmente pelo fato de estas altas portadoras serem utilizadas em sistemas baseados em luz. Este aumento pode ser entendido se, por exemplo, estipularmos que a largura de banda de uma portadora modulada equivale a 1% da taxa de dados em sistemas convencionais operando em 1 GHz, ou seja, 10 Mb/s. Para o caso da fibra óptica, mantendo-se a ideia da equivalência de 1%, temos que para um sistema com uma portadora de 200 THz a taxa de dados seria de 2000 Gb/s, de acordo com Agrawal (2002).

Reflita

Os sistemas de rádio, por exemplo, não estão limitados a operar até a frequência de 1 GHz. Atualmente, existem equipamentos de radiofrequência que conseguem transmitir na faixa de frequências extremamente altas (EHF – *Extremelly High Frequency*), que vão de 30 GHz até 300 GHz. Reflita se é possível atingir as mesmas taxas em sistemas de rádio. Se não, qual seria o motivo? (THOMSON et al., 1947)

Este potencial de largura de banda em sistemas de comunicação óptica é o que lidera o esforço ao redor do mundo para o desenvolvimento e a implantação de sistemas de comunicação ópticos. Além disso, as características de baixa atenuação e a imunidade contra interferências eletromagnéticas conferem um aspecto ainda mais atrativo para o uso de fibras ópticas. A Figura 3.9 mostra um diagrama de blocos padrão para sistemas de comunicação óptica. São três elementos comuns aos sistemas de comunicação ópticos: o transmissor, o canal de comunicação e o receptor, como aponta Agrawal (2002).

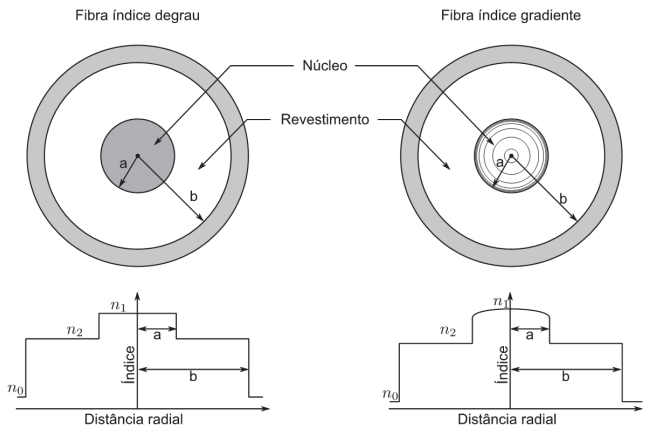
Figura 3.9 | Diagrama padrão para sistemas de comunicação óptica



Fonte: elaborada pelo autor.

Os sistemas de comunicação ópticos podem ser classificados em duas categorias amplas: guiados e não guiados. Como os próprios nomes implicam, no caso dos sistemas com a onda de luz guiada, o raio óptico emitido por um transmissor permanece espacialmente confinado. Este propósito é conseguido na prática pelo uso de fibras ópticas. Assim, de uma forma simples, uma fibra óptica consiste em um núcleo cilíndrico de vidro envolto por um revestimento, o qual tem um índice refrativo menor que aquele do núcleo. Devido à mudança abrupta no índice de refração na interface núcleo/revestimento, tais fibras são chamadas de fibras de índice degrau. Em um tipo diferente de fibra, conhecido como fibra de índice gradual, o índice de refração diminui gradualmente dentro do núcleo. A Figura 3.10 mostra esquematicamente o índice do perfil e a secção transversal para esses dois tipos de fibra, de acordo com Agrawal (2002).

Figura 3.10 | Seção transversal de uma fibra de índice degrau e índice gradual.

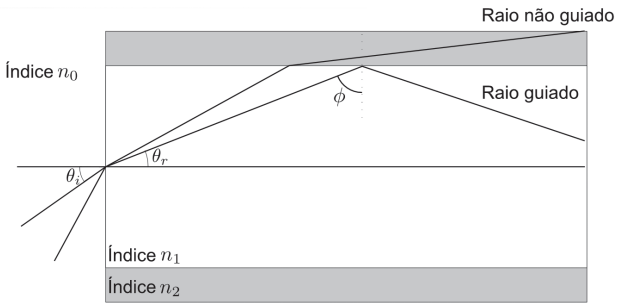


Fonte: elaborada pelo autor.

Uma boa maneira de obter entendimento sobre as propriedades guiantes de uma fibra óptica é utilizando o suporte visual da geometria

óptica. A descrição da geometria óptica, embora seja aproximada, é válida quando o raio do núcleo "a" é bem maior que o comprimento de onda da luz λ. Por outro lado, quando os tamanhos são próximos, então a teoria de propagação de onda é necessária. Na Figura 3.11, observe o raio incidindo no eixo da fibra, fazendo um ângulo θ_i.

Figura 3.11 | Óptica geométrica aplicada ao modelo de propagação de luz no interior da fibra óptica



Fonte: elaborada pelo autor.

Por causa da refração, o ângulo de saída do raio incidente dentro da fibra se aproxima do eixo. Esta relação de ângulos é dada por:

$$n_0 \operatorname{sen}\theta_i = n_1 \operatorname{sen}\theta_r \quad (3.14)$$

onde n_1 e n_0 são os índices de refração do núcleo e do ar, respectivamente. O raio refratado acerta a interface núcleo-revestimento e é novamente refratado. Entretanto, a refração é possível somente se o ângulo de incidência ϕ seja tal que $\operatorname{sen}\phi < n_2 / n_1$. Desta forma, temos o chamado ângulo crítico, definido como:

$$\operatorname{sen}\phi_c = n_2 / n_1, \quad (3.15)$$

em que n_2 é o índice de refração do revestimento. Para ângulos de incidência maiores que ϕ_c existirá reflexão interna total na interface núcleo-revestimento. Uma vez que estas reflexões ocorrem ao longo da fibra, todos os raios com $\phi > \phi_c$ permanecerão confinados no núcleo da fibra. Além disso, podemos utilizar as equações (3.14) e (3.15) para encontrar o ângulo máximo que o raio deve fazer com o eixo da fibra para permanecer confinado dentro do núcleo da fibra. Note que $\theta_r = \frac{\pi}{2} - \phi_c$ é o limite para um raio confinado típico e quando substituímos na equação (3.14), temos:

$$n_0 \operatorname{sen}\theta_i = n_1 \cos\phi_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (3.15)$$

Fazendo-se uma analogia com lentes, $n_0 \operatorname{sen}\theta_i$ é conhecido com abertura numérica (NA – *Numerical Aperture*) da fibra. Esta representa a capacidade de captação de luz de uma fibra óptica. Para $n_1 \simeq n_2$ o NA pode ser aproximado por:

$$NA = n_1 \left(2\Delta\right)^{1/2}, \quad \Delta = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (3.16)$$

onde Δ é o índice fracional da mudança de índice da interface núcleo-revestimento. Intuitivamente, Δ deveria ser o maior possível para acoplar o máximo de luz possível dentro da fibra. Entretanto, tais fibras não são úteis para o propósito da comunicação óptica devido ao fenômeno conhecido como dispersão por múltiplo percurso ou dispersão modal, como aponta Agrawal (2002).

A dispersão por múltiplo percurso pode ser entendida notando que raios viajam dentro do núcleo por caminhos diferentes, os quais possuem percursos diferentes. Como resultado, estes raios se dispersam no tempo na saída da fibra devido ao comprimento de percurso diferente para raios com diferentes ângulos de incidência na fibra. Em um pulso curto, por exemplo, o resultado seria o seu alargamento. Poderíamos estimar a extensão do alargamento de um pulso considerando o percurso do raio mais curto e o do raio mais longo. O percurso mais curto ocorre quando $\theta_i = 0$ e o percurso deste raio é do mesmo tamanho do comprimento da fibra L. O percurso mais longo ocorre para θ_i dado pela equação (3.15) e tem um comprimento $L/\operatorname{sen}\phi_c$. Ao se considerar a velocidade de propagação $v = c/n_1$, o tempo de atraso é dado por:

$$dT = \frac{n_1}{c}\left(\frac{L}{\operatorname{sen}\phi_c} - L\right) = \frac{L}{c}\frac{n_1^2}{n_2}\Delta . \quad (3.17)$$

Além disso, nós podemos relacionar dT a uma estimativa da capacidade de transporte de informação da fibra, medida por meio de uma taxa de bit B. A relação entre B e dT depende de muitos detalhes como a duração de pulso. Neste caso, é intuitivo observar que dT deve ser menor que a duração de um pulso ($T_B = 1/B$). Portanto, uma estimativa da ordem de magnitude da taxa de bit é obtida da condição $BdT < 1$. Então, utilizando a equação (3.17) temos, de acordo com Agrawal (2002):

$$BL < \frac{n_2}{n_1^2}\frac{c}{\Delta} . \quad (3.18)$$

Exemplificando

A equação (3.18) é uma estimativa grosseira de um limite fundamental das fibras índice degrau. Como exemplo, considere uma fibra com $n_1 = 1.5$ e $n_2 = 1$. Assim temos que:

$$BL < \frac{n_2}{n_1^2}\frac{c}{\Delta} = \frac{1}{(1.5)^2}\frac{3\times10^8}{0.333} = 400\text{Mb/s-m.}$$

Uma grande melhora acontece com fibras que têm uma diferença de índice menor na fibra degrau. Como consequência, fibras com aplicações de comunicação são desenvolvidas com $\Delta < 0,01$. Neste caso, com uma fibra tendo $\Delta = 0,02$, por exemplo, temos um $BL < 100000$ Mb/s-m. Estas fibras podem comunicar a uma taxa de 10 Mb/s em distâncias de até 10 km.

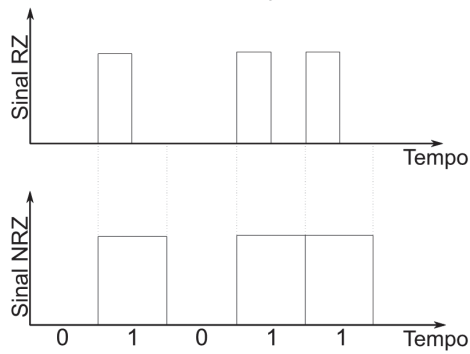
Outro aspecto importante no projeto de sistemas de comunicações ópticos está relacionado com o controle da portadora. A onda da portadora óptica antes da modulação pode ser escrita na forma:

$$\mathbf{E}(t) = \hat{\mathbf{e}}A\cos(\omega_0 t + \phi) \quad (3.19)$$

onde é $\mathbf{E}$ é o vetor de campo elétrico, $\hat{\mathbf{e}}$ é o vetor unitário de polarização, A é a amplitude, ω_0 é a frequência de portadora e ϕ representa a fase. A dependência espacial de $\mathbf{E}$ é suprimida para a simplificação da notação. Neste caso, podemos escolher modular a amplitude A, a frequência ω_0 ou a fase ϕ. No caso da modulação analógica, as três escolhas conhecidas para modulação são modulação em amplitude (AM), modulação em frequência (FM) e modulação em fase (PM). As mesmas técnicas de modulação podem ser aplicadas no caso digital e são chamadas de chaveamento em amplitude (ASK – *amplitude-shift keying*), chaveamento em frequência (FSK – *frequency-shift keying*) e chaveamento por fase (PSK – *phase-shift keying*), dependendo de como a portadora é deslocada entre os dois níveis lógicos de um sinal binário digital. A técnica mais simples consiste em mudar a potência do sinal entre dois níveis, um dos quais é o nível zero, e é frequentemente chamado de chaveamento liga-desliga (OOK – on-off keying) para refletir a natureza de liga e desliga resultante do sinal óptico. A maioria dos sistemas de comunicação por luz emprega o OOK em conjunto com alguma combinação

de modulação por codificação de pulso (PCM – *Pulse coding modulation*). Além disso, devemos decidir como o sinal elétrico deve ser convertido em uma série de bits ópticos. Normalmente, a saída de uma fonte óptica tal como um semicondutor laser é modulada pela aplicação de um sinal elétrico que pode excitar a fonte óptica diretamente ou indiretamente por um modulador externo. Além disso, há duas escolhas para o formato de modulação resultante para a série de bits ópticos. A Figura 3.12 mostra o exemplo de formatos retorno a zero (RZ – *return-to-zero*) e não retorno a zero (NRZ – *nonreturn-zero), de acordo com Agrawal (2002).*

Figura 3.12 | Série de bits utilizando codificação RZ e NRZ



Fonte: elaborada pelo autor.

No formato RZ, cada pulso óptico representando 1 bit é mais curto que o espaço reservado para o símbolo que sempre retorna para zero antes do período de bit terminar. No formato NRZ, o pulso óptico permanece constante por todo o espaço reservado para o símbolo e nunca retorna para zero entre séries consecutivas de bits de nível 1. Como resultado, a largura de pulsos para o formato NRZ varia de acordo do padrão de dados, enquanto que no formato RZ o tamanho da largura de pulso permanece constante. Uma vantagem do formato NRZ é que a largura de banda associada com a série de bits é menor que a do formato RZ por um fator de 2, devido às transições do nível um para zero constantes neste formato. Entretanto, a utilização do formato NRZ requer um controle rígido sobre o alargamento de pulso devido ao possível espalhamento que pode ocorrer durante a transmissão e que causa erros por conta dos efeitos dependentes do padrão de bit. Embora tenha esta desvantagem, ainda assim é

frequentemente utilizado na prática devido à sua menor ocupação de largura de banda, como aponta Agrawal (2002).

Sinais analógicos podem ser convertidos para o domínio digital pela sua amostragem e quantização em intervalos de tempos regulares. De acordo com Oppenheim (2011), o teorema da amostragem determina a taxa de amostragem de um sinal analógico de largura de banda Δf. De acordo com este teorema, um sinal pode ser totalmente representado por amostras discretas, sem qualquer perda de informação, desde que a frequência de amostragem f_s satisfaça o critério de Nyquist, ou seja,

$$f_s \geq \left(2\Delta f\right). \quad (3.20)$$

Assimile

É muito importante que você tenha entendido o critério de Nyquist. Você deve lembrar que um sinal pode ser totalmente representado por amostras discretas, sem qualquer perda de informação, desde que a frequência de amostragem satisfaça o seguinte critério:

$$f_s \geq \left(2\Delta f\right).$$

Este é um dos conceitos mais fundamentais para a área de processamento digital de sinais, de acordo com Oppenheim (2011).

Os valores amostrados podem ter qualquer valor no intervalo de $0 < A < A_{\max}$, $0 < A < A_{\max}$, onde é a máxima amplitude de um dado sinal analógico. Assumimos aqui que $A_{\max}$ seja dividido em M intervalos discretos. Neste processo, cada valor amostrado é quantizado para corresponder a um destes valores discretos. Este procedimento leva a um ruído adicional, conhecido como ruído de quantização, o qual adiciona mais ruído ao já existente no sinal analógico. Por este fenômeno, podemos calcular a SNR da seguinte maneira:

$$SNR = 20\log_{10}\left(A_{\max} / A_N\right), \quad (3.21)$$

em que A_N é o valor RMS da amplitude de ruído do sinal analógico. Citamos anteriormente que a modulação OOK poderia ser utilizada em conjunto com alguma combinação de modulação PCM. Esta é

a técnica mais utilizada universalmente e é baseada em um esquema binário no qual a informação é carregada pela ausência ou presença. Um código binário é utilizado para converter um valor amostrado discreto em uma série de bits um e zero. O número de bits m necessário para codificar cada amostra discreta está relacionado com o número de níveis de sinal quantizado *M* pela seguinte relação:

$$M = 2^m \text{ ou } m = \log_2 M. \quad (3.22)$$

A taxa de bit associada com o sinal PCM digital é, portanto dada por:

$$B = mf_s \geq (2\Delta f)\log_2 M. \quad (3.23)$$

De acordo com Agrawal (2002), ainda é possível representar a taxa de bit de um sinal PCM como:

$$B > (\Delta f / 3)\text{SNR} \quad (3.24)$$

em que a SNR é expressa em unidades de decibel (dB).

Exemplificando

Suponha a conversão de um sinal analógico de telefone. Neste caso, o sinal analógico possui uma largura de faixa $\Delta f = 3{,}1$ kHz e uma SNR em torno de 30 dB. Utilizando a equação 3.23 encontramos uma taxa de bit $B > 31$ kb/s. Na prática, o canal digital de áudio opera a 64 kb/s. Logo, o sinal analógico é amostrado em intervalos de $125\mu s$ (taxa de amostragem $f_s = 8$ kHz) e cada amostra é representada por 8 bits.

No exemplo anterior, aprendemos que um canal de voz digital opera em uma taxa de 64 kb/s. A maioria dos sistemas de comunicação por fibra óptica capazes consegue transmitir a uma taxa de mais de 1 Gb/s. Para conseguir utilizar a capacidade total, é necessário que se transmita por muitos canais simultaneamente através da multiplexação. Isso pode ser alcançado pela multiplexação por divisão de tempo (TDM – *time-division multiplexing*) ou multiplexação por divisão de frequência (FDM – *frequency-division multiplexing*). No caso do TDM, os bits associados com os diferentes canais são intercalados no domínio do tempo para formar uma série composta de bits. Por exemplo,

o espaço do bit é em torno de $15\mu s$ para um único canal de voz operando a 64 kb/s. Cinco destes canais podem ser multiplexados através do TDM se a série de bits de canais sucessivos for atrasada de $3\mu s$, de acordo com Agrawal (2002).

No caso do FDM, os canais são espaçados no domínio da frequência. As portadoras são espaçadas além da largura de banda tal que os espectros não se sobreponham. O FDM é adequado para ambos os sinais, analógico e digital, e é utilizado na difusão de canais de rádio e televisão. O TDM é diretamente implementável para sinais digitais e é normalmente utilizado para redes de telecomunicações. É importante também entender que o TDM e o FDM podem ser implementados em ambos os domínios, elétrico e óptico. O FDM óptico é frequentemente referido como multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM – *wavelength-division multiplex, de acordo com Mukherjee (2006),* pois separa os sinais por comprimentos de onda.

Pesquise mais

O conceito de TDM foi utilizado para formar hierarquias digitais. As hierarquias digitais são importantes para formar multiplexadores digitais amarrados em uma forma ordenada de repetição para produzir sinais com taxas de dados mais altas em cada nível da hierarquia. Por exemplo, esta é uma maneira de condensar as diversas linhas de telefone em uma rede de comunicação. Recomendamos que leia mais sobre o TDM no capítulo 8 do livro *Fiber-optic communication systems,* que aborda especificamente o assunto sobre técnicas de multiplexação.

AGRAWAL, G. P. **Fiber-optic communication systems**. 3. ed. John Wiley Professio, 2002.

Sem medo de errar

Voltamos ao plano para expandir o sistema para uma nova área da cidade que está em construção. Trata-se de um bairro em área residencial de alto padrão que será habitado por clientes potencialmente exigentes. Você já sabe que Antônio prefere uma

abordagem mais conservadora e acredita que a expansão deve continuar com uma infraestrutura baseada em cabos metálicos. Por outro lado, você tem uma visão melhor de futuro e acredita que para esta clientela o uso de infraestrutura por fibra óptica será um sucesso e o retorno será mais lucrativo. Logo, a utilização de fibras ópticas renderá uma qualidade bem superior ao serviço. Além disso, as fibras têm um custo mais baixo se compararmos às altas perdas e a menor capacidade espectral em cabos coaxiais. Assim, você prepara uma tabela comparativa e mostra para Antônio.

Cabo coaxial	Fibra óptica
A transmissão de sinais acontece de forma elétrica através do condutor interno do cabo.	A transmissão do sinal acontece de forma óptica dentro de uma fibra de vidro.
Tem uma imunidade mais baixa em relação ao ruído.	A fibra óptica tem maior imunidade ao ruído uma vez que os raios de luz não são afetados pelo ruído elétrico.
Pode ser afetado por campo magnético externo.	Não é afetado por nenhum campo magnético externo.
É um componente barato para curtas distâncias.	É um componente caro para curtas distâncias.
Largura de banda razoável.	Largura de banda muito grande.
A atenuação é alta.	A atenuação é baixa.
A instalação é simples.	A instalação é complexa.

Antônio começa a aceitar que utilizar fibras ópticas no novo empreendimento é uma boa ideia. Assim, você finaliza a discussão com um último argumento: utilizar fibras ópticas pode ajudar a proteger a rede contra descargas atmosféricas. Descargas sobre cabos coaxiais geralmente levam a grandes perdas de material e queima de equipamentos. Estes problemas não vão afetar as fibras ópticas, uma vez que essas são isolantes. Logo, Antonio decide que esta é a melhor opção e você pode proseguir com o planejamento do projeto.

Antônio também está interessado em um sistema de difusão digital e gostaria de saber qual é a quantidade máxima de canais que poderiam ser transmitidos. Desta forma, tomamos conhecimento sobre a taxa de bits de um padrão para compressão de vídeo geralmente utilizado em *streaming*. O *extended profile* é um perfil de *streaming* de imagem com resolução máxima de 1280x720 com

30 frames por segundo e possui uma taxa de bits de 14 Mbit/s, de acordo com Committee (2014). Uma forma grosseira de calcular a quantidade possível de canais é pela razão da taxa de streaming pela capacidade de dados de uma fibra óptica. Considerando uma fibra óptica com perfil gradual, temos que a estimativa da taxa de bits é dado por:

$$BL < \frac{8c}{n_1 \Delta^2} \qquad (3.25)$$

Tomando como exemplo uma fibra com perfil degrau e parâmetros $n_1 = 1,5$ e $\Delta = 0,01$, temos:

$$BL < \frac{8 \times 3 \times 10^8}{1,5 \times 0,01^2} = 16000 \text{ Mbit/s-km}$$

A quantidade máxima de canais que podem ser transmitidos é então:

Número máximo de canais $= \frac{16000}{14} \approx 1142$

Lembrando aqui que este é o caso em que utilizamos uma fibra com perfil gradual para transmitir os dados. Na fibra degrau a quantidade possível de canais cai bastante. Estas estimativas levam em consideração as grandes perdas que ocorrem devido à dispersão do sinal na fibra óptica. Ao reduzir o impacto de degradação causado pela dispersão, utilizando a condição de propagação mono modo, por exemplo, temos que a quantidade de canais ainda poderia aumentar significativamente.

Avançando na prática

Oportunidade de ouro

Descrição da situação-problema

Eduardo é um técnico que trabalha na área de instalação de fibras ópticas. Ele conseguiu uma ótima oportunidade para comprar rolos de fibra óptica de tipos diferentes pelo mesmo valor.

Infelizmente, Eduardo pode comprar apenas um rolo e gostaria de saber qual deles tem condições de garantir uma maior taxa de bit por segundo. O rolo do tipo A é uma fibra degrau que possui um $n_1 = 1,5$ e $n_2 = 1,47$. O rolo do tipo B é uma fibra gradual com $n_1 = 1,5$ e $\Delta = 0,333$. Ajude Eduardo a tomar a decisão correta e levar o rolo de fibra que possui a maior taxa de bit por segundo.

Resolução da situação-problema

Já sabemos que uma boa estimativa da taxa de bit para uma fibra do tipo degrau é dada pela equação (3.18). Neste caso, considerando a fibra do tipo A, temos que a taxa de bit é:

$$BL_{(\mathrm{A})} = \frac{1,47}{1,5^2}\frac{3\times 10^8}{0,02} = 9800 \text{ Mbit/s-m.}$$

Além disso, sabemos também que uma boa estimativa da taxa de bit para uma fibra do tipo gradual é dada pela equação (3.24). Neste caso, considerando a fibra do tipo B, temos que a taxa de bit é:

$$BL_{(B)} = \frac{8\times 3\times 10^8}{1,5\times\left(0,333\right)^2} = 14400 \text{ Mbit/s-m.}$$

Observe que apesar de a fibra do tipo B apresentar um $\Delta_{(B)} > \Delta_{(A)}$, ainda assim a fibra gradual apresenta melhor desempenho quando comparada à fibra do tipo degrau. Logo, será melhor para Eduardo levar a fibra do tipo gradual.

Faça valer a pena

1. Os códigos de linha são muito importantes para a comunicação por fibras ópticas. Por exemplo, no formato RZ, cada pulso óptico representando 1 bit é mais curto que o espaço reservado para o símbolo que sempre retorna para zero antes de o período de bit terminar. Em outro caso, no formato NRZ, o pulso óptico permanece constante por todo o espaço reservado para o símbolo e nunca retorna para zero entre séries consecutivas de bits de nível 1.

Marque a alternativa correta, que fala sobre uma diferença entre o formato RZ e NRZ.

a) O formato RZ é exclusivo para sistemas de fibra óptica, enquanto NRZ não é.

b) A largura de banda do formato RZ é maior que a largura de banda do formato NRZ.

c) A largura de banda do formato NRZ é maior que a largura de banda do formato RZ.

d) O formato RZ é utilizando para combater dispersão, e o NRZ não é.

e) O formato NRZ varia de acordo com o padrão de dados, enquanto que o RZ não varia.

2. Você aprendeu que o desempenho de uma fibra gradual é maior que o desempenho de uma fibra degrau. Isso é devido ao fato de sua estrutura conseguir reduzir os efeitos da dispersão por múltiplos percursos que ocorrem na fibra degrau. Considere que você tem disponível uma fibra com os parâmetros $n_1 = 1,5$ e $\Delta = 0,01$.

De acordo com o texto-base, calcule a estimativa da taxa de bit resultante a partir dos parâmetros fornecidos.

a) 11023 Mbit/s-km.

b) 12000 Mbit/s-km.

c) 20000 Mbit/s-km.

d) 45000 Mbit/s-km.

e) 16000 Mbit/s-km.

3. Um conceito importante utilizado na conversão de sinais analógicos para o domínio digital é pela sua amostragem em intervalos de tempos regulares. De acordo com Oppenheim (2011), o teorema da amostragem determina a taxa de amostragem de um sinal analógico de largura de banda Δf. De acordo com este teorema, um sinal pode ser totalmente representado por amostras discretas, sem qualquer perda de informação, desde que a frequência de amostragem f_s satisfaça o critério de Nyquist. Considere que você possui um sinal de áudio com uma largura de banda $\Delta f = 22kHz$.

De acordo com o texto-base, calcule a taxa de amostragem f_s que o sinal deve ser amostrado para que não haja perda de informação.

a) 44 kHz.

b) 10 kHz.

c) 22 kHz.

d) 8 kHz.

e) 9600 Hz.

Seção 3.3

Sistemas de comunicação via satélite

Diálogo aberto

Caro estudante, na seção anterior, você estudou os componentes de um sistema de comunicação por fibra óptica. Inicialmente, conhecemos os blocos que compõem um sistema de comunicação e o meio pelo qual o sinal é guiado: a fibra óptica. Em seguida, aprendemos sobre os tipos mais comuns de modulação nestes sistemas e as particularidades sobre os métodos de conversão do domínio analógico para o digital. Fechamos a seção falando sobre os diferentes tipos de multiplexação e sua utilização para formar hierarquias digitais.

Nesta nova seção, vamos estudar os satélites. Vamos iniciar pelos conceitos básicos sobre os satélites, que podem ser naturais ou artificiais, e aprender sobre as características físicas que os definem. Em seguida, aprenderemos sobre os tipos mais comuns de satélites e suas diversas funções relacionadas com as áreas de telecomunicações; geolocalização; astronomia e astrofísica; ciências da Terra; atmosfera e clima. Vamos classificar estes equipamentos pelo tipo de órbita e descrever as particularidades de cada uma delas. Além disso, vamos nos aprofundar em questões de projeto de enlaces de comunicação via satélite e terminaremos a seção estudando as particularidades dos tipos de acesso existentes.

Juca é um pesquisador renomado em questões climáticas voltadas para a previsão do tempo na área da agricultura. O grupo de pesquisa de Juca se dedica a entender informações estatísticas para prever a temperatura e a ocorrência de chuvas a fim de fornecer parâmetros de risco e época de plantio. Infelizmente, os sistemas atuais não fornecem os dados que os cientistas precisam analisar e este grupo lhe procurou para propor um plano audacioso. O objetivo é lançar um microssatélite com sensores especiais para estudar os fenômenos que eles desejam. Seu objetivo vai ser apresentar para

Juca algumas noções básicas sobre satélites. Você deve mostrar para o grupo como este plano pode dar certo se algumas regras do planejamento de satélites forem satisfeitas para que haja comunicação com confiabilidade.

Vamos lá?

Não pode faltar

Satélites são todos os corpos que orbitam em torno de outro corpo. Geralmente, eles são classificados como satélites naturais ou satélites artificiais. Por exemplo, a Lua é um satélite natural e orbita a Terra. Já o satélite artificial é um objeto criado pelo homem e também orbita ao redor da Terra. Os satélites artificiais são construídos para finalidades distintas, como: telecomunicações, geolocalização e pesquisas científicas. A difusão de rádio e televisão leva conteúdo cultural a diversas regiões remotas do planeta. O sistema de posicionamento global (GPS – *global positioning system*) é importante para orientar pessoas do mundo todo pela navegação terrestre, aérea e marítima, de acordo com Frenzel (2013).

Reflita

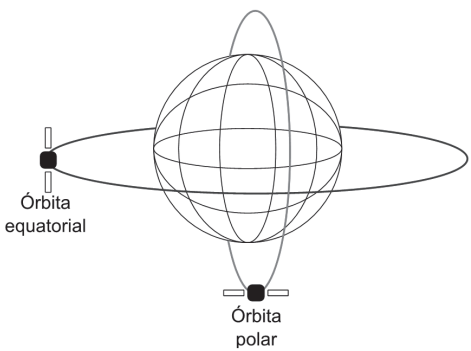
Você agora já sabe que o único satélite natural da Terra é a Lua. A Lua gira em torno da Terra e para completar uma volta leva 28 dias. Chamamos este giro de revolução e, neste mesmo período, ela dá um giro completo em torno de si. Você também sabe que satélites são utilizados para comunicação. Logo, mesmo sendo um satélite natural, seria possível utilizar a Lua ser para fazer comunicação?

Especialmente na parte de pesquisas científicas, os satélites contribuem com as áreas de astronomia e astrofísica; ciências da terra; atmosfera e clima. Com relação aos satélites meteorológicos, é possível obter imagens da cobertura de nuvens que são utilizadas para prever a possibilidade de frentes frias, geadas, furacões e chuvas. A previsão destes fenômenos naturais é importante para a agricultura e principalmente para ajudar a reduzir o número de vítimas em desastres naturais, como aponta Frenzel (2013).

Pesquise mais

A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) é uma agência responsável pela política nacional de meteorologia e climatologia no Brasil. Visite o site disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>, acesso em: 19 ago. 2017, para conhecer mais sobre o trabalho desta agência e os recursos interessantes que os satélites podem oferecer. Entre no *link* "Satélite" para observar a movimentação das nuvens, incidência de descargas atmosféricas, mudanças climáticas e informações técnicas sobre os satélites que atualmente proveem informações críticas para a agricultura e prevenção de desastres naturais.

Figura 3.13 | Exemplo das órbitas de satélite



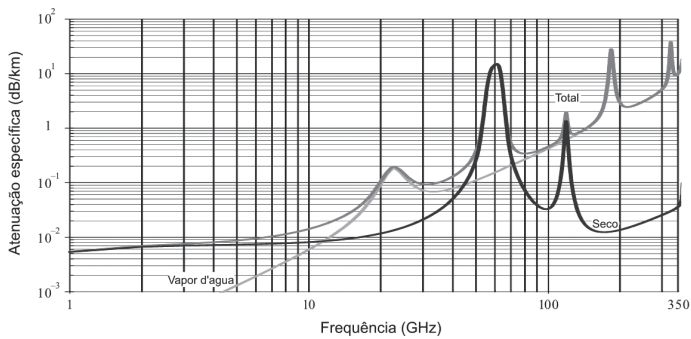
Fonte: elaborada pelo autor.

O enlace de comunicação via satélite pode ser caracterizado pelo cálculo da relação sinal-ruído do sistema analisado. Conforme introduzimos na Seção 3.1, o levantamento da relação sinal-ruído depende, no caso de enlaces terrestres, de diversos fatores. Na comunicação via satélite, há também fatores positivos (ganho das antenas e potência do transmissor) e fatores negativos (atenuação pela chuva, atmosfera, desalinhamento e polarização). Podemos ainda continuar utilizando a lei de Friis para contabilizar o balanço do enlace conservando, por exemplo, o parâmetro de perda por distância. A diferença é que desta vez temos de acrescentar parâmetros de atenuação provocados por aspectos específicos às comunicações via satélite à atenuação total. Assim, vamos denominar a perda por espaço livre como L_{EL}, que é dada por:

$$L_{EL} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \text{ ou } L_{EL} = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \text{ (dB)} \quad (3.25)$$

em que λ é o comprimento de onda e d é a distância entre a antena transmissora e a receptora. Para o caso da perda atmosférica, sabemos que o planeta Terra é coberto por gases, que formam a atmosfera. Estes gases podem formar camadas que se estendem até 650 quilômetros de altura. Estes gases podem interagir de maneira diferente com os sinais em diversas frequências diferentes, causando atenuação. A Figura 3.14 mostra a atenuação específica devido a gases atmosféricos em função da frequência. A curva preta mostra a influência da atenuação proporcionada apenas pelos gases, a curva cinza claro mostra a atenuação provocada apenas pela umidade e a curva cinza representa a combinação dos dois efeitos. Aqui vamos denominar esta perda por L_A como apontam Haykin e Moher (2008).

Figura 3.14 | Atenuação específica devido a gases atmosféricos (Pressão = 1013,24 hPa; temperatura = 15 °C; densidade do vapor de água = 7.5 g/m^3)



Fonte: Itu (2016).

Além dos gases atmosféricos, o balanço do enlace deve considerar também perdas devido às chuvas. Uma atenuação mais severa pode acontecer na medida em que o comprimento de onda se aproxima das dimensões da gota d'agua. Em geral, a atenuação aumenta quanto maior for a frequência de operação do enlace. A atenuação para o caso da chuva deve ter uma abordagem estatística pelo fato de este fenômeno ser eventual. Assim, a intensidade da precipitação é medida por meio da taxa de queda de chuva, expressa em mm/h. A estatística da precipitação temporal é obtida por meio da distribuição

da probabilidade cumulativa. Esta probabilidade indica a porcentagem de tempo no ano durante o qual um dado valor da taxa de queda da chuva é excedido, de acordo com Haykin e Moher (2008).

O parâmetro de atenuação da chuva é dado pelo produto da atenuação específica γ_R (dB/km) e a distância do percurso do enlace contido na região da chuva D_E (km), ou seja:

$$L_{ch} = \gamma_R D_E \quad (3.26)$$

O valor de γ_R depende dos parâmetros estatísticos da chuva e D_E das posições do satélite e da estação terrestre.

Outra forma de degradação do enlace relacionado com sistemas por satélite são os cabos. Lembre-se de que a potência do sinal geralmente diminui proporcionalmente com o inverso do quadrado da distância e para uma ordem de grandeza dada em quilômetros, o sinal que atinge o receptor será muito baixo, exigindo uma atenção maior aos cabos e às conexões. Podemos classificar as perdas no transmissor por L_{FTX}, e no receptor por L_{FRX}, nos quais estas são as perdas normais causadas por cabos e elementos de conexão.

Em comunicações por satélite existem outras fontes de ruído que também devem ser consideradas. Além das fontes de ruído terrestre, tais como interferência originada de outros equipamentos de rádio, há também a interferência causada por fontes cósmicas ou re-irradiação pela própria atmosfera. Além disso, o ruído interno gerado pela eletrônica do próprio receptor também deve receber atenção especial devido à recepção de baixa potência relacionada às grandes distâncias comuns aos enlaces de satélite. Então, as contribuições de todas essas fontes de interferências combinadas geram o nível total de ruído presente no sistema de recepção. Com este parâmetro é possível estabelecer uma relação de potência transmitida necessária para superar o ruído total no receptor. Desta forma, a confiabilidade pode ser garantida ao oferecer um nível suficientemente adequado de sinal para a recepção. Além disso, no contexto das comunicações digitais, acresça-se o uso de códigos corretores de erro como forma de oferecer melhor qualidade no sinal recebido conforme apresentado em seções anteriores. O modelo estatístico de ruído normalmente utilizado é o ruído gaussiano branco, em que a densidade espectral de potência é dada por N_0 (W/Hz). Uma vantagem de se adotar este modelo é devido ao comportamento matemático bem definido e

por ele possuir densidade espectral constante, isto é, possui potência igualmente distribuída em toda a largura de banda considerada. A potência equivalente de ruído N (W) em relação à largura de banda B_N (Hz) é dada por:

$$N = N_0 B_N \quad (3.27)$$

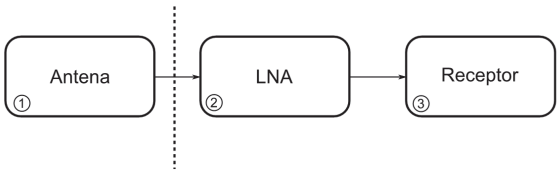
O nível de ruído presente no receptor está relacionado com a temperatura de ruído dos elementos que constituem uma cadeia de recepção. Esta é uma temperatura equivalente efetiva que uma fonte de ruído externa teria para produzir o mesmo nível de ruído no receptor. Assim, em termos desta temperatura, a densidade espectral de ruído pode ser definida como:

$$N_0 = kT \text{ (W/Hz)}, \quad (3.28)$$

em que k é a constante de Boltzman $1,38 \times 10^{-23}$ (W/Hz-K). Elementos diferentes no sistema são caracterizados por uma temperatura de ruído T_N. Esta é a temperatura do ruído a qual tem potência equivalente a um resistor passivo produzindo a mesma potência, como apontam Haykin e Moher (2008).

Conforme já vimos anteriormente, o receptor possui elementos que produzem ganhos para compensar as perdas e melhorar a relação sinal-ruído. A Figura 3.15 mostra um exemplo típico de receptor para demonstrar a relação entre os ganhos e a temperatura de ruído.

Figura 3.15 | Diagrama típico de um receptor de satélite



Fonte: elaborada pelo autor.

Neste caso, cada elemento contribui com um ganho g_n e uma temperatura de ruído t_n. O bloco 1 é a antena, o bloco 2 é um amplificador de RF de baixo ruído (LNA – *low noise amplifier*) e o bloco 3 é o receptor. O LNA é um amplificador muito utilizado em sistemas de satélite por apresentar um nível muito baixo de ruído e que resulta em uma melhor qualidade da SNR final. A temperatura de

ruído do primeiro bloco 1 da Figura 3.15 compõe o parâmetro T_{ant}. Chamamos de parâmetro T_r as temperaturas de ruído em Kelvin dos dois últimos blocos. Logo, a temperatura total é dada por:

$$T_s = T_{ant} + T_r \,. \qquad (3.29)$$

A temperatura da antena é calculada como:

$$T_{ant} = \frac{t_{céu} + \left(L_{ant} - 1\right)T_0}{L_{ant}} \,, \quad (3.30)$$

em que $t_{céu}$ é a temperatura de ruído do céu em Kelvin, T_0 é a temperatura ambiente em Kelvin, L_{ant} são as perdas da antena, a qual pode ser calculada como o inverso do ganho da antena, como apontam Haykin e Moher (2008).

$$L_{ant} = \frac{1}{G_{ant}} \,. \qquad (3.31)$$

A temperatura de ruído do sistema (dois últimos blocos) é representada pelo parâmetro T_r. Uma forma genérica do ruído de sistema pode ter *n* blocos e a temperatura de ruído pode ser calculada como:

$$T_r = t_3 + \frac{t_4}{g_3} + \frac{t_5}{g_3 g_4} + \ldots + \frac{t_n}{g_3 g_4 \cdots g_{n-1}} \,. \quad (3.31)$$

em que t_n e g_n são a temperatura de ruído e ganho do bloco *n*, respectivamente. Para calcular o parâmetro g_n de um bloco (por exemplo: atenuadores, cabos coaxiais, guias de onda), podemos utilizar o inverso da atenuação, ou seja:

$$g_n = \frac{1}{l_n} \,. \quad (3.32)$$

A figura de ruído é um parâmetro que relaciona uma relação sinal--ruído de entrada com uma relação sinal-ruído de saída. Logo, temos que

$$F = \frac{SNR_o}{SNR_i} \,. \qquad (3.33)$$

Além disso, se a figura de ruído de um bloco for conhecida, então a temperatura de ruído pode ser calculada como abaixo, de acordo com Haykin e Moher (2008).

$$t_n = (F - 1)T_0 \ . \quad (3.34)$$

Assimile

Lembre-se de que o balanço de enlace para um sistema de satélite inclui mais elementos que podem prejudicar o sinal durante sua jornada do transmissor até o receptor do que em sistemas terrestres. O desempenho da recepção também está intimamente ligado aos parâmetros de temperatura de ruído dos elementos da cadeia de recepção. Aqui separamos em temperatura da antena, dada pela equação (3.31), e temperatura de sistema, dada pela equação (3.32), os principais fatores que contribuem para a degradação da SNR. A estes também incluímos os parâmetros de atenuação conhecidos do balanço de enlace para sistemas terrestres.

Os satélites repetidores retransmitem as mensagens que recebem e possuem dois tipos de funções principais. O repetidor regenerativo regenera, ou seja, demodula e reconstitui a informação digital incorporada na forma de onda recebida antes da retransmissão, enquanto um repetidor não regenerativo somente amplifica e transmite. Um repetidor não regenerativo, por outro lado, pode ser utilizado por muitos formatos de modulação diferentes, enquanto que o regenerativo é projetado para operar somente com um único ou uns poucos formatos de modulação. Geralmente, a referência a um repetidor ou transponder está diretamente relacionada a um repetidor não regenerativo. Um transponder de satélite está limitado em sua capacidade de transmissão pela sua potência de *downlink* (quando o sinal sai do satélite para a estação terrestre), potência de *uplink* (quando o sinal sai da estação terrestre para o satélite) no terminal terrestre, largura de banda do canal e pelo ruído terrestre/satélite. Um destes parâmetros citados é geralmente o limite de desempenho dominante; mais frequentemente a potência de *downlink* ou a largura de banda do canal representam a limitação do sistema, de acordo com Jeszensky (2004).

O repetidor transmite todos os sinais de *uplink* sem qualquer outro processamento além da amplificação e do deslocamento de frequência. A análise do link para um repetidor não regenerativo trata o percurso total com uma única análise. Existe uma dependência nominal da SNR sobre a SNR do *uplink* e o compartilhamento da potência do *downlink* em proporção à potência do *uplink* de cada um dos vários sinais e do ruído. Geralmente, há múltiplos sinais de *uplink* que chegam ao receptor que possui uma determinada largura de banda e que são separados um do outro por meio da técnica de acesso por multiplexação em divisão por frequência (FDMA – frequency division multiplexing access). O FDMA é uma técnica de comunicações para compartilhamento de recursos em que usuários diferentes ocupam porções disjuntas da banda disponível do transponder, de acordo com Jeszensky (2004).

Ao contrário do receptor não regenerativo, a análise do regenerativo deve ser tratada como dois percursos ponto a ponto diferentes. Neste caso, determinamos a probabilidade de erro de bit no *uplink* e no *downlink* para calcular o desempenho nominal da taxa de erro de bit de um enlace repetidor regenerativo. Então, tomamos P_u e P_d como a probabilidade de um bit estar errado no *uplink* e *downlink*, respectivamente. Um bit estará correto no enlace ponto a ponto se o bit estiver correto tanto no *uplink* e *downlink* ou se existir um erro em ambos. Assim, a probabilidade nominal de que um bit esteja correto é:

$$P_C = (1 - P_u)(1 - P_d) + P_u P_d . \quad (3.35)$$

A probabilidade nominal que um bit está incorreto é:

$$P_E = (1 - P_C) = P_u + P_d - 2P_u P_d . \quad (3.36)$$

O processo da informação transmitida pode ser entendido de forma prática se pensamos na forma como o bit viaja para o sistema não regenerativo e regenerativo. No sistema não regenerativo, o satélite não tem influência na devolução do sinal para a estação terrestre a não ser por amplificação ou deslocamento em frequência. Assim, um sinal com forma de onda binária vai ter apenas uma probabilidade de ser decodificado como incorreto, somente após a recepção na estação terrestre. No caso do regenerativo, supomos que o bit chegue até o satélite para ser regenerado. Com relação ao

ruído existente no sinal que o atinge, um algoritmo deve decidir se o valor do bit é 1 ou 0. Assim, de acordo com o critério de decisão do algoritmo, o bit pode estar correto ou incorreto. Em seguida, o mesmo processo acontece na estação terrestre para decidir sobre o valor do bit após a retransmissão. Devido à existência destas duas etapas no sistema regenerativo, a análise da probabilidade de erro de bit é diferente do sistema não regenerativo, de acordo com Jeszensky (2004).

Exemplificando

Vamos apresentar um exemplo de como saber se é vantagem utilizar a regeneração. Assim, considere que P_R seja a probabilidade nominal de que um bit esteja correto num sistema regenerativo e P_{NR} seja a probabilidade de que um bit esteja correto num sistema não regenerativo. Para acrescentar justiça e simplicidade ao problema, suponha que exista uma probabilidade em função de uma distância $p_i = 0,05d_i$. A distância d_1 é o percurso da Terra para o satélite ou vice-versa. A distância $d_2 = 2d_1$ é o percurso total Terra-satélite-Terra. Então, temos que, para o sistema não regenerativo:

$$P_{NR} = (1 - p_2) = (1 - 0,05d_2) = (1 - 0,1d_1),$$

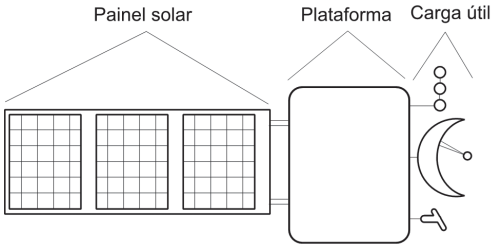
e para o sistema regenerativo:

$$P_R = (1 - p_1)(1 - p_1) + p_1 p_1 = (1 - 0,05d_1)(1 - 0,05d_1) + 0,025d_1^2.$$

Para facilitar a análise, considere que d_1 seja unitário. Assim, $P_{NR} = 90\,\%$ e $P_R = 90,5\,\%$ de um bit estar correto. Assim, note que a chance de transmitir um bit correto é maior no sistema regenerativo em relação às restrições deste problema. Este é um caso simplificado apenas para fazer uma comparação direta, mas probabilidades diferentes levando em consideração aspectos de situações reais podem ser utilizadas para fazer este mesmo tipo de análise.

Você se encontra com Juca e seu grupo de pesquisa. Nesta reunião, você explica a composição básica de um satélite, o desenvolvimento dele, as várias etapas necessárias como o projeto do próprio satélite, as forças sobre o equipamento devido ao foguete, o rastreamento pela estação terrestre, o controle de deslocamento em uma órbita definida e a recepção dos dados enviados pelo equipamento. A Figura 3.16 ilustra um diagrama genérico de três partes principais que constituem um satélite.

Figura 3.16 | Diagrama geral de um satélite



Fonte: elaborada pelo autor.

As partes principais do satélite são: a plataforma, com os componentes necessários para o funcionamento de todo o sistema; o painel solar, que é a fonte de energia para alimentar os circuitos e a bateria; e a carga útil, que são as antenas, os sensores e instrumentos dedicados à função proposta do equipamento.

Você explica também que microssatélites, ou satélites miniaturizados, são aqueles que possuem dimensões e massa reduzidas. Esta é uma tecnologia relativamente recente e sua massa é geralmente menor que 500 kg. A maior razão pela miniaturização está relacionada com a redução de custo. Satélites deste porte podem ser lançados utilizando-se foguetes menores e mais baratos ou lançados em conjunto com outras cargas. Além disso, os componentes dos minissatélites podem ser projetados e construídos com um custo menor, o que favorece a sua produção em massa.

Visto que este minissatélite vai transmitir informações a partir de sua posição, vamos calcular um exemplo do balanço de enlace para o *downlink*. Considerando que este satélite esteja monitorando apenas uma região, este é considerado como geoestacionário e localizado à distância de 40.000 km. Além disso, podemos tabelar alguns dados:

Tabela 3.1 | Parâmetros do enlace

Frequência de descida	$f_D = 12$ GHz
Potência do transmissor	$P_{tx} = 25$ W
Ganho da antena transmissora	$G_T = 38,2$ dB
Ganho da antena receptora	$G_T = 56,7$ dBi
Perda por acoplamento no transmissor	$L_{fTX} = 1$ dB
Perda por acoplamento no receptor	$L_{fTX} = 0,5$ dB
Figura de ruído do receptor	$F = 2,2$ dB
Temperatura de ruído da conexão	$T_f = 290$ K

Temperatura de ruído do céu	$T_{sky} = 20$ K
Temperatura de ruído terrestre	$T_{gnd} = 45$ K
Distância entre o satélite e a estação terrestre	$R = 40000$ km

Fonte: elaborada pelo autor.

Primeiro, devemos calcular a potência irradiada pelo satélite:

$$P_{TX} = 10\log(25) = 14\text{dB}.$$

Logo,

$$EIRP = P_{TX} + G_t - L_{fTX} = 14,0 + 38,2 - 1 = 51,2\text{dBW}.$$

Em seguida, devemos também calcular a atenuação de descida, mas antes disso, vamos calcular o comprimento de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f_d} = \frac{3\times10^8}{12\times10^9} = 0,025\text{m}.$$

A atenuação devido à distância do enlace é dada por:

$$L_d = 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) = 20\log\left(\frac{4\pi 40000000}{0,025}\right) = 206,1\text{dB}$$

Até agora calculamos os parâmetros que nos permitem conhecer a potência que é recebida na estação terrestre. Neste momento, vamos calcular a relação sinal-ruído do sinal que receberemos. Começamos calculando a temperatura da antena com os dados que temos da tabela:

$$T_a = T_{sky} + T_{gnd} = 20 + 45 = 65\text{K}.$$

Em seguida, calculamos a temperatura de ruído do receptor com as informações dadas pela tabela:

$$T_r = (10^{(F/10)} - 1)T_f = (10^{(2,2/10)} - 1)290 = 191,3\text{K}$$

A figura de ruído do sistema é dada por:

$$F_s == \left(G_r - L_{fRX}\right) - 10\log\left(\frac{T_a}{10^{\frac{L_{fRX}}{10}}} + T_f\left(1 - \frac{1}{10^{\frac{L_{fRX}}{10}}}\right) + T_r\right) = 31,7$$

Finalmente, calculamos a relação descida, mas como:

$$\text{SNR} = EIRP - L_d + F_s - k = 51,2 - 206,1 + 31,7 - 228,6 = 105,4\text{dB}$$

em que a constante de Boltzmann é dada em decibéis como $k = -228,6$ dBW.

Avançando na prática

Agricultura e satélites

Descrição da situação-problema

Francisco é um empreendedor que deseja lançar no mercado um sistema receptor de satélite que faz previsões automáticas para a área de agricultura. Este receptor deve receber os sinais de um satélite que possui um sensor que monitora o movimento das chuvas e nuvens. Francisco possui um receptor de projetos antigos que tem uma figura de ruído de 8 dB. Além disso, ele também possui um modem que consegue demodular os sinais do satélite e converter essa informação para as imagens que ele deseja estudar. O demodulador requer uma relação sinal-ruído de 12 dB para que funcione de maneira confiável e que o sinal tenha uma largura de banda de 5 kHz. Além disso, a temperatura ambiente é de 290 K. Francisco possui estes equipamentos, mas não tem o conhecimento técnico para calcular a sensibilidade do sistema. Ajude-o a calcular a sensibilidade do receptor.

Resolução da situação-problema

O primeiro passo dado para determinar a sensibilidade do receptor é calcular a potência de ruído. A potência de ruído em relação a uma largura de banda B do receptor é:

$$N = F(kT_0)B,$$

onde F é a figura de ruído do receptor. Para facilitar os cálculos, a representação em decibéis é:

$$N_{(dBm)} = k_{(dBm-sK^{-1})} + T_{0(dBK)} + F_{(dB)} + B_{(dBHz)}$$

em que k é a constante de Boltzmann, que pode ser calculada em decibéis, como:

$$k = 1,38 \times 10^{-23}\ \text{W-s}^{\text{o}}\text{K} = -288,6\ \text{dBW-s/K}.$$

Além disso, a constante de Boltzmann é também muito útil quando calculada em dBm:

$$k = 1,38 \times 10^{-23}\ \text{W-s}^{\text{o}}\text{K} = -198,6\ \text{dBm-s/K}.$$

Finalmente, podemos calcular a potência de ruído como:

$$N_{(dBm)} = -198,6 + 10\log 290 + 8 + 10\log 5000 = -129,0\ \text{dBm}.$$

Assim, temos que a sensibilidade do receptor é dada por:

$$S = \text{SNR} \times N.$$

Logo, representando os termos em decibéis, a sensibilidade do receptor é:

$$S_{(dB)} = \text{SNR}_{(dB)} + N_{(dBm)} = 12 - 129 = -117\ \text{dBm}.$$

Desta forma, o receptor necessita de um nível de sinal mínimo de -117 dBm para conseguir demodular o sinal e extrair a informação com confiabilidade.

Faça valer a pena

1. A Lua é um satélite natural e orbita em torno da Terra. Um satélite artificial é um objeto criado pelo homem e também orbita ao redor da Terra. A Lua fica a uma distância de 38.440 km da terra e, quando estamos em período de Lua cheia, deixa as noites mais claras. Juca gostaria de utilizá-la para transmitir um sinal para João que está em outro estado, em uma frequência de 433 MHz.

Supondo que a Lua consiga refletir 100% um sinal originado da Terra e considerando que não haja perdas pela atmosfera, marque a alternativa que corresponde à potência necessária para transmitir e receber um sinal em um nível de -80 dBm.

a) 116 dBm.

b) 433 dBm.

c) 321 dBm.

d) 900 dBm.

e) 312 dBm.

2. Especialmente na parte de pesquisas científicas, os satélites contribuem com as áreas de astronomia e astrofísica; ciências da terra; atmosfera e clima. Com relação aos satélites meteorológicos, é possível obter imagens da cobertura de nuvens que são utilizadas para prever a possibilidade de frentes frias, geadas, furacões e chuvas. A previsão destes fenômenos naturais é importante para a agricultura e principalmente para ajudar a reduzir o número de vítimas em desastres naturais.

Leia as afirmativas abaixo:

I – Órbita polar significa que o satélite se encontra no plano do equador.

II – A órbita polar pode ser considerada como Sol-Síncrona.

III – O satélite geoestacionário está fixo em relação a um ponto na superfície da Terra.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente I está correta.

b) Somente II está correta.

c) Somente III está correta.

d) II e III estão corretas.

e) I, II e III estão corretas.

3. Em comunicações por satélite existem outras fontes de ruído que também devem ser consideradas. Além das fontes de ruído terrestre, tais como interferência originada de outros equipamentos, há também a interferência causada por fontes cósmicas ou re-irradiação pela própria atmosfera. Além disso, o ruído interno gerado pela eletrônica do próprio receptor também deve receber atenção especial.

Marque a alternativa correta que fala sobre o motivo pelo qual um sistema de satélite deve exigir atenção especial para certas atenuações.

a) Devido às chuvas, que melhoram a propagação.

b) Devido ao bloqueio da luz, que energiza o satélite.

c) Devido ao bloqueio do sinal do satélite pela Lua.

d) Devido à energia cósmica, que pode queimar o receptor.

e) Devido ao baixo nível de sinal que atinge o receptor.

Referências

FRENZEL JUNIOR, Louis. **Fundamentos de comunicação eletrônica**: linhas, micro-ondas e antenas. Porto Alegre: Amgh, 2013.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas modernos de comunicações wireless**. São Paulo: Bookman, 2008.

ITU. **P.676**: attenuation by atmospheric gases. International: International Telecomunication Union, 2016.

JESZENSKY, Paul Jean Etienne. **Sistemas telefônicos**. Tamboré: Manole, 2004.

MOLISCH, Andreas F. **Wireless communications**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

OPPENHEIM, Alan V. **Discrete-Time Signal Processing**. 3. ed. New York: Pearson Education, 2011.

SAUNDERS, Simon R; ZAVALA, Alejandro Aragón. **Antennas and propagation for wireless communication systems**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

Noções de redes e serviços integrados

Convite ao estudo

Caro estudante!

Gostaríamos de convidá-lo para a etapa final de seus estudos, na qual fechamos o conteúdo da disciplina. Nesta unidade vamos fornecer noções sobre redes telefônicas, comunicações móveis e rede de comunicação de dados. Queremos que tenha um entendimento sobre o funcionamento da rede telefônica pública baseada em rádio e fios. Além disso, vamos passar noções sobre redes de computadores e seus elementos de arquitetura e protocolos.

O prospecto das novas tecnologias emergentes do futuro é bastante excitante, mas, para qualquer um trabalhando ou interessado em trabalhar na indústria de telecomunicações, o futuro das carreiras em telecomunicações é a verdadeira atração. A primeira razão disso é o grande mercado de usuários da tecnologia de comunicações, significando um grande número de postos de trabalho que estarão disponíveis dedicados à manutenção de acesso para milhões de clientes. Além disso, novas tecnologias abrem oportunidades para novas carreiras em todos os estágios de desenvolvimento, manufatura e distribuição de produtos de telecomunicações. Da mesma maneira, abre-se espaço também para empreendedores que desejam desenvolver software que explora novas tecnologias para criar soluções originais. E o melhor de tudo: a atual projeção para o futuro da telecomunicação significa uma coisa mais importante: melhores oportunidades na carreira. No momento em que as tecnologias de telecomunicações alavancam tanto negócios como comunicação pessoal, esta profissão pode ter, com certeza, sempre alguma necessidade nesta indústria.

Dentro do contexto desta unidade, vamos aprender os vários sistemas atuais de comunicação. Na Seção 4.1 vamos conhecer as típicas redes telefônicas e descobrir como estas se desenvolveram das tecnologias analógicas para as digitais e de grande escala. Na Seção 4.2, vamos estudar as comunicações móveis e conhecer seus principais elementos. Vamos também aprender como dimensionar uma rede móvel. Na Seção 4.3, vamos estudar as redes de comunicação de dados. Vamos conhecer elementos da arquitetura, protocolos e os modelos típicos. Aprenderemos também particularidades sobre as redes privadas e públicas. Vamos lá?

Você trabalha na Falamais, empresa de telecomunicações, e acabou de ser promovido a diretor de tecnologia. Você tem um grande desafio pela frente ao decidir sobre o futuro das tecnologias com as quais a empresa trabalha. No momento, você já começará a trabalhar em três projetos. Sua missão será desenvolver soluções de sucesso para garantir o futuro da empresa.

Vamos nessa? Boa sorte!

Seção 4.1

Rede telefônica

Diálogo aberto

Caro estudante!

Na seção anterior, você estudou os satélites. Começamos introduzindo os conceitos básicos sobre os satélites. Descobrimos que existem satélites naturais, artificiais e aprendemos as características físicas que os definem. Em seguida, aprendemos os tipos mais comuns de satélites e suas diversas funções relacionadas com as áreas de telecomunicações; geolocalização; astronomia e astrofísica; ciências da terra; atmosfera e clima. Classificamos estes equipamentos pelo tipo de órbita e descrevemos as particularidades de cada um deles. Além disso, nos aprofundamos em questões de projeto de enlaces de comunicação via satélite e terminamos a seção estudando as particularidades dos tipos de acesso existentes.

Nesta nova seção vamos estudar a classificação da rede telefônica. Vamos, inicialmente, conhecer como funcionam os entroncamentos telefônicos e como se desenvolveram para atender a uma grande escala de assinantes. Em seguida vamos entender também as hierarquias telefônicas que permitem agrupar um grande número de canais em apenas uma via. Fechamos a seção falando sobre como dimensionar a demanda por chamadas para uma central telefônica.

Como diretor da Falamais Telecom, você começa encarando o primeiro desafio. Atualmente, a empresa possui um banco de sistemas antigos que funcionam com a hierarquia digital plesiossíncrona. A tecnologia digital de hierarquia plesiossíncrona utiliza fontes de sincronismo independentes e de alta precisão. O antigo diretor tem orgulho dos equipamentos e essa era uma maneira de convencer os investidores a permanecer com o sistema por ser "tradicional" e "garantido". Você sabe que este sistema é bastante caro para ser mantido e necessita de um investimento bem maior para conseguir uma expansão dele. O conhecimento desta seção vai lhe preparar para ter novos argumentos, que o antigo diretor não tinha. Você terá

a missão de apresentar suas novas ideias de maneira efetiva e ainda convencer que há a possibilidade de fornecer serviços de acesso wireless.

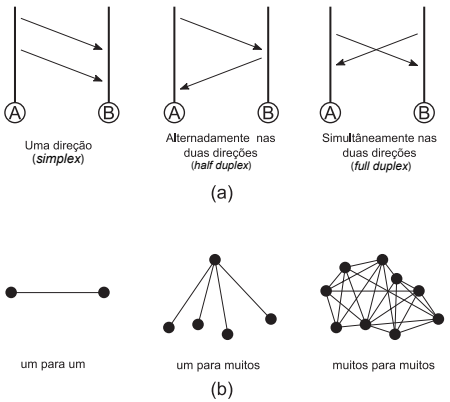
Vamos lá?

Não pode faltar

Em um sistema de comunicação bem definido, há três componentes essenciais para a transferência efetiva de informação: o dispositivo transmissor, o mecanismo de transporte e o dispositivo receptor.

O mecanismo de transporte pode variar desde um sistema simples de canal único até uma rede complexa de comunicação consistindo de muitos circuitos, dispositivos de chaveamento e outros componentes. Um sistema de comunicação pode carregar informação em uma direção apenas (*simplex*), em ambas as direções de maneira simultaneal (*duplex ou full duplex*), ou alternadamente em cada direção (*half duplex*), como mostrado na Figura 4.1(a). Pode ser também uma comunicação ponto a ponto, como em uma conversação telefônica, ponto para multiponto, como em difusão de rádio ou TV, ou entre muitos pontos simultaneamente, como no caso de uma rede de computador, conforme mostrado nos diagramas da Figura 4.1(b), como apontam Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.1 | Esquemas de comunicação: (a) fluxo da informação, (b) enlace entre pontos



Fonte: elaborada pelo autor.

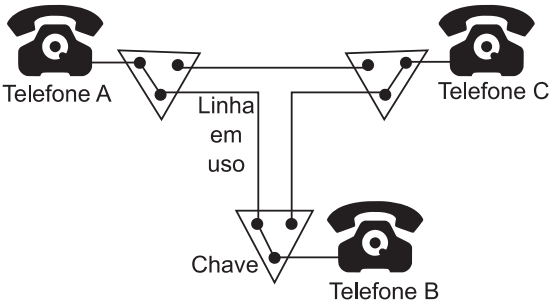
Quando surge uma necessidade de compartilhamento de informações entre vários indivíduos, uma rede de comunicações facilita a comunicação entre os usuários. A rede pode ter uma infraestrutura limitada geograficamente, por exemplo, uma rede pública de telefonia comutada. Outro exemplo é uma rede que cobre uma pequena área em função de uma única organização, tal como um sistema privado automático de comutação (PABX – *Private Automatic Branch Exchange*). As redes de computadores mais comuns que conhecemos hoje são as redes de área local (LAN – *Local Area Network*) e funcionam com comutação por pacotes (a ocupação dura apenas o tempo da transferência de um pacote). Uma rede de comutação de circuito, tal como uma rede pública de telefonia, pode ser implantada como uma rede de comutação sob demanda (a ocupação dura o tempo da necessidade de comunicação). Quando surge necessidade de comunicação, os circuitos do sistema são reservados para fazer uma ponte de comunicação ligando um usuário A com outro usuário B. Dependendo do tamanho do sistema, pode não haver recursos suficientes e um possível usuário C poderá experimentar o bloqueio. O bloqueio dura enquanto todos os recursos da rede são utilizados por completo.

Reflita

Até agora apenas nos concentramos em cuidar dos problemas relacionados a um enlace. E com relação a múltiplos enlaces? Reflita sobre os possíveis problemas e soluções quando um sistema lida com múltiplos enlaces.

A Figura 4.2 ilustra um sistema de comutação simples de uma rede telefônica. Um dispositivo de comutação em que cada assinante habilita a apropriada seleção da linha sob demanda. Desta forma, o mecanismo de transporte é um sistema complexo de chaves e arranjos de circuitos. Esta mesma ideia é escalável para grandes redes de telecomunicação com mais assinantes, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.2 | Diagrama de um sistema telefônico por comutação



Fonte: elaborada pelo autor.

Em uma rede pública de comunicações, o número de chaves e sua localização são governados pelo número total e a distribuição geográfica das estações que necessitam do serviço. A interconexão entre os assinantes é por múltiplos circuitos, chamados troncos, com capacidade suficiente para atender àquela demanda. Ela pode carregar múltiplas conversações simultaneamente usando técnicas especiais de multiplexação e transmissão. Multiplexação refere-se ao agrupamento de várias conversas, e transmissão refere-se ao transporte destes grupos.

A sinalização é outro conceito importante em redes de telecomunicações. Ela usa mensagens especiais para estabelecer, manter, terminar e cobrar ligações. Avanços no chaveamento, sinalização e transmissão capacitaram as modernas redes de comunicações a manipular uma combinação complexa de assinantes, sistemas e uma variedade de serviços avançados, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

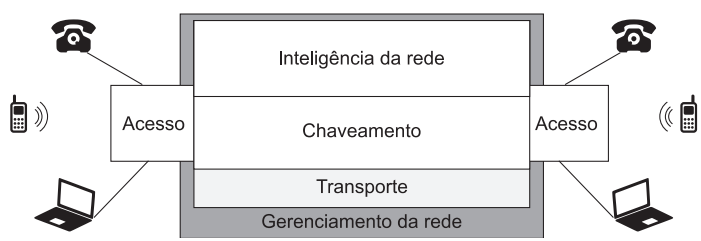
No atual panorama de serviços de comunicação, os sistemas podem ser divididos primariamente em rede pública de telefonia comutada, rede pública de comunicação móvel e rede de dados comutados em pacotes. Antes, havia sistemas antigos de telegrafia e telefonia por voz. A evolução da eletrônica e computação permitiu o surgimento dos sistemas modernos, como a telefonia celular e a internet. Nós estamos agora na era da informação, em que a informação tornou-se um ativo importante tanto para a comunidade de negócios quanto para a sociedade em geral.

Até agora a nossa ênfase foi sobre o canal de comunicação, técnicas de transmissão e controle de deficiências na recepção,

sem tocar na questão sobre como manipular vários canais para fazer interconexão entre dois ou mais pontos. Em uma rede de comunicação, canais são estabelecidos entre usuários quando necessário. O propósito fundamental é a troca de informação em qualquer forma por um usuário com qualquer outro usuário da rede, como apontam Kularatna e Dias (2004).

A estrutura básica de uma rede consiste de chaves, ou comutadores, interconectados por uma rede de transporte. Os assinantes são conectados à via de comutação mais curta disponível da rede. As funções de controle necessárias para estabelecer, manter e desconectar comunicações sobre a rede são manipuladas pela sinalização. A Figura 4.3 mostra um modelo de referência de uma rede moderna. Comparando com uma versão mais antiga, os sistemas modernos utilizam a inteligência da rede (sinalização) e o gerenciamento de rede como funções mais centralizadas devido ao alto nível de recursos de computação demandado por uma rede com um grande número de assinantes, , de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.3 | Modelo de referência de um sistema moderno de redes



Fonte: elaborada pelo autor.

A rede de acesso provê a conexão entre as instalações do assinante e o local de comutação. As tecnologias utilizadas na rede de acesso são a malha local básica e o acesso ao telefone fixo sem fio, a malha do assinante digital, celular e fibra. Um exemplo de tipo de acesso antigo é a malha local ou malha do assinante, consistindo de um par de fios que parte do comutador até cada assinante, carregando a voz do assinante em forma analógica. Os componentes físicos que compõem a malha local são chamados de rede de acesso. A malha local de rádio (WLL – *Radio Local Loop*) é um termo genérico para um sistema de acesso que utiliza um enlace wireless para conectar

assinantes aos seus locais de comutação no lugar de um par de fios de cobre. Dependendo da infraestrutura existente de telecomunicações, demanda por serviços e condição local de mercado, esta tecnologia pode ser um substituto ou um complemento para a malha local. O conceito do WLL pode ser estendido para permitir a livre mobilidade do assinante enquanto acessa a rede de comunicações. A tecnologia predominante de acesso móvel atualmente são os sistemas celulares, os quais são na verdade redes de acesso para o sistema público de telecomunicações, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Aquilo que faz com que o serviço de telefonia seja único é a capacidade que este nos dá para comunicarmos uns com os outros nas condições em que isso não seria possível. Esta seletividade faz com que este serviço seja muito diferente da difusão, na qual todos recebem o mesmo sinal. Cada assinante acessa o comutador mais próximo. Todas as chamadas que são feitas pelos assinantes são transportadas pelo mesmo canal de acesso. Entretanto, o percurso total viajado pelo sinal de voz entre um assinante e outro é diferente de uma ligação ponto a ponto. O canal de acesso é somente parte deste circuito. Para alcançar o serviço pessoa-pessoa, os percursos de transmissão devem ser rapidamente configurados e reconfigurados por chaveamento e sinalização. Os antigos sistemas manuais se desenvolveram por meio de tecnologias diferentes até se tornarem sistemas sofisticados digitalmente distribuídos e controlados por software. A inteligência para estabelecer funções de controle de chamada é implementada por mecanismos de sinalização. Sinalização é o mecanismo que permite aos componentes da rede estabelecer, manter, terminar e cobrar as sessões em uma rede. O sistema de sinalização acessa vários bancos de dados para obter informações sobre como conectar por mais de uma via de comutação, como apontam Kularatna e Dias (2004).

Os enlaces de comunicação conectando chaves em um sistema de comunicações formam a rede de transmissão ou transporte. Estes consistem de instalações de comunicação de alta capacidade capazes de transportar milhares de ligações multiplexadas simultaneamente, constituído de uma combinação de cabos de cobre, cabos de fibra óptica e enlaces terrestres e de satélite. A rede de transmissão fundamentalmente provê um número suficiente de canais de um comutador para outro. Comutadores usam estes canais para chamadas que eles roteiam de um comutador para outro, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Assimile

Lembrem-se: os componentes básicos para possibilitar a comunicação por uma rede podem ser categorizados conforme a seguinte lista:

- Acesso.
- Chaveamento e sinalização.
- Transmissão (transporte).

Os sistemas de chaveamento e transmissão do mundo foram se convertendo gradualmente de sistemas analógicos para digitais no fim de 1970. O processo básico de digitalização da voz utilizado é conhecido como modulação por código de pulso (PCM – *Pulse Coded Modulation*) e sistemas que agrupam muitos canais de voz em um único fluxo de dados são conhecidos como multiplexação na divisão do tempo (TDM – *Time Division Multiplex*). O PCM é um processo de amostragem, quantização e codificação que converte a conversação da voz em uma taxa padrão de 64-kbps. Este resultado vem de um sinal que é amostrado a uma taxa de 8000 Hz. Estas amostras são convertidas em pulsos e estes pulsos são associados a um valor binário de oito bits através dos processos de quantização e codificação. Uma vez digitalizados, voz e dados de várias fontes podem ser combinados (multiplexados) e transmitidos em um único enlace de alta velocidade. Este processo é possível devido ao TDM que divide o link em 24 ou 30 intervalos de tempo discretos. Nos Estados Unidos e Japão um sistema de 24 canais é conhecido como T1 enquanto que um sistema de 30 canais é chamado de E1, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Os sistemas PCM de 20 ou 30 canais são somente a primeira, ou fundamental, ordem de multiplexação digital. Se for necessário transmitir mais que 30 ou 24 canais, o sistema é construído hierarquicamente e é chamada de hierarquia plesiossíncrona (PDH – *Plesiochronous Digital Hierarchy*). Quatro sistemas primários E1 são multiplexados para formar uma saída com 120 canais. Essa é chamada de segunda ordem de multiplexação ou, simplesmente, E2. Similarmente, quatro sistemas E2 são multiplexados e resultam em uma saída de 480 canais, formando a terceira ordem de multiplexação ou sistema E3. O Quadro 4.1 indica estes níveis com o correspondente número de canais e taxas de bits, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Quadro 4.1 | Níveis com o correspondente número de canais e taxas de bits

Nível	Número de canais	Taxa de bit (Mbit/s)
Primeiro (E1)	30	2.048
Segundo (E2)	120	8.448
Terceiro (E3)	480	34.368
Quarto (E4)	1920	139.264
Quinto (E5)	7680	565.992

Fonte: elaborado pelo autor.

Sistemas plesiossíncronos não sincronizam chaves, mas apenas utilizam relógios altamente precisos para todo o chaveamento de nós, tal que a taxa de escorregamento entre os nós seja aceitavelmente baixa. Uma vez que os relógios são independentes, a frequência entre eles é ligeiramente diferente. Essa diferença faz com que haja uma diferença de fase entre os relógios que aumenta com o tempo. Essa relação da diferença de fase é chamada de taxa de escorregamento. Este modo de operação é bem mais fácil se desenvolver e também evita a distribuição do controle de tempo sobre a própria rede. Por outro lado, redes plesiossíncronas carregam o fardo da necessidade de se utilizar fontes de tempo independentes altamente precisas.

Apesar dos aspectos atraentes da multiplexação assíncrona, há uma grande desvantagem. Se, por exemplo, um sistema de 140 Mbit/s está operando entre duas grandes cidades, então não é possível identificar e ganhar acesso a canais individuais em certos pontos da rede. Em outras palavras, retirar e inserir algo no agrupamento requer um procedimento completo de demultiplexação. Assim, surgiu a multiplexação digital síncrona (SDH – *Synchronous Digital Multiplexing*) para atender a estas deficiências. O padrão SDH define taxas de transmissão, formato de sinal, estruturas de multiplexação para as interfaces de nó da rede. A padronização do SDH é adequada para o gerenciamento efetivo pelos operadores de rede do custo do crescimento em largura de banda e previsão de novos serviços para os clientes. A multiplexação SDH combina sinais digitais de baixa velocidade como 2, 34 e 140 Mbps com a sobrecarga necessária para formar um quadro chamado módulo síncrono de transporte no nível 1 (STM-1). O quadro STM-1 possui nove seguimentos de 270 bytes cada. Os primeiros nove bytes de cada seguimento carregam a informação de sobrecarga e os 261 bytes restantes transportam a carga útil. A integração do serviço digital existente na hierarquia do SDH opera com 125 microssegundos por quadro, isto é, são 8.000

quadros por segundo. A capacidade de quadro pode ser calculada como

$$C_{quadro} = 270_{bytes/linha} \times 9_{linhas/quadro} \times 270_{bits/byte} = 19440 \text{ bits/quadro}$$

A taxa de bit de um sinal STM-1 pode ser calculada como

$$C = \text{ Taxa de Quadro } \times C_{quadro}$$

ou

$$C = 8000_{quadros/segundo} \times 19440_{bits/quadro} = 155,52 \text{ Mbit/s}$$

Três níveis são padronizados para o SDH: STM-1, STM-4 e STM-16. O sinal STM-4 deve ser criado pelo entrelaçamento entre 4 sinais STM-1. A taxa básica do quadro permanece de 8.000 quadros por segundo, mas a capacidade é quadruplicada resultando em uma taxa de bit de $4 \times 155,52$ ou 622,08 Mbit/s (KULARATNA; DIAS, 2004).

Pesquise mais

A dificuldade para se realizar os cálculos com a fórmula de Erlang levou à elaboração de tabelas em que é possível consultar facilmente a probabilidade de bloqueio em relação à intensidade de tráfego e o número de canais para escoar. Pesquise mais sobre essa tabela no Livro "Sistemas Telefônicos" no Capítulo 3. Esta tabela será importante para acelerar a solução dos exercícios desta seção.

A teoria de tráfego telefônico tem o objetivo de dimensionar a maneira mais eficiente de utilizar os recursos da rede telefônica. Determinar o número de linhas que interligam duas centrais telefônicas é um exemplo de dimensionamento de troncos. O objetivo é determinar quantos troncos são necessários para atender de maneira satisfatória à demanda dos usuários por ligações. Levantamos também a questão da qualidade de serviço, que significa, por exemplo, a probabilidade de haver uma chamada perdida em certo número de chamadas realizadas. Sabemos que a ocorrência de chamadas telefônicas é aleatória, podendo ocorrer em qualquer instante, assim como a duração de uma conversação. Desta maneira, torna-se necessário caracterizar as medidas de tráfego telefônico. O volume do tráfego telefônico é a soma dos tempos ocupados durante as conversações em um grupo de enlaces. Seja t_i os tempos

de ocupação de um enlace, o volume de tráfego pode ser calculado por

$$Y = \sum_{i=1} t_i \ .$$

O volume de tráfego indica apenas a quantidade de ocupação da linha, e não o grau de utilização. Temos que a intensidade de tráfego durante um período de tempo T é a soma das durações de tempo de ocupação dividida por T, de acordo com Freeman (2005). Podemos escrever a intensidade de tráfego como

$$A = \frac{\sum_{i=1} t_i}{T} \ .$$

A unidade da intensidade de tráfego é o Erlang (E), em homenagem ao matemático dinamarquês Agner Krarup Erlang. Ele desenvolveu uma fórmula para solucionar o problema da quantidade de linhas telefônicas necessárias a serem instaladas para interligar as centrais de duas cidades vizinhas. A fórmula é conhecida como Erlang B e pode ser escrita como

$$P_b = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^{N} \frac{A^i}{i!}}$$

em que A representa o tráfego oferecido, N é o número de canais para escoar o tráfego e P_b é a probabilidade de bloqueio da chamada, como aponta Freeman (2005).

Exemplificando

Vamos considerar que uma empresa possua 100 ramais. A seguinte tabela revela informações importantes sobre o movimento de chamadas.

Origem	Nº de chamadas	Duração
Vendas	30	3 minutos
Suporte	5	15 minutos
Recebidas	10	3 minutos

Podemos calcular a intensidade de tráfego como

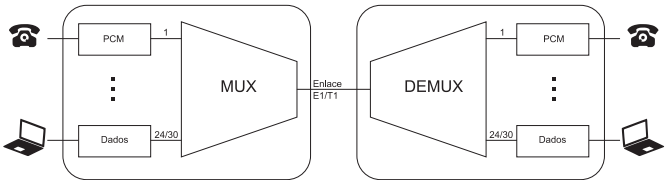
$$A = \frac{30 \times 3 + 5 \times 15 + 10 \times 3}{60} = 3,25 \text{ Erlangs}$$

Sem medo de errar

Este é o momento de você se preparar para apresentar suas ideias para os investidores que desejam que a empresa Falamais Telecom tenha expansão de sucesso. Sabemos que em uma rede pública de comunicações a quantidade total de recursos é governada pelo número total e a distribuição geográfica das estações que necessitam do serviço. Estas estações são projetadas para fazer a interconexão entre os assinantes por múltiplos circuitos com capacidade suficiente para atender a certa demanda. Uma maneira de carregar múltiplas conversações simultaneamente é utilizando técnicas de multiplexação. A multiplexação é uma técnica em que agrupamos vários canais e os transmitimos por apenas uma linha.

Aprendemos também que um canal básico utiliza codificação PCM. Vimos que o PCM é um processo de amostragem, quantização e codificação que converte a conversação da voz em uma taxa padrão de 64 kbps. Uma vez que o canal esteja digitalizado, podendo carregar voz e dados de várias fontes, este canal pode ser combinado (multiplexado) e transmitido em um único enlace de alta velocidade. Isso é possível devido à multiplexação no domínio do tempo (TDM) que divide o link em 24 ou 30 (dependendo da tecnologia) intervalos de tempo discretos. Nos Estados Unidos e Japão um sistema de 24 canais é conhecido como T1 e na Europa um sistema com 30 canais é conhecido como E1. A Figura 4.4 ilustra um conceito típico de transmissão utilizando multiplexação.

Figura 4.4 | Conceito típico de transmissão TDM/PCM



Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme já vimos, os sistemas PCM de 24 ou 30 canais são somente a primeira, ou fundamental, ordem de multiplexação digital. Para uma quantidade maior de canais, um sistema hierárquico pode ser construído. A primeira hierarquia, atualmente utilizada na empresa, é a plesiossíncrona (PDH – *Plesiochronous Digital Hierarchy*). Já demos um exemplo em que quatro sistemas primários E1 são multiplexados para formar uma saída com 120 canais. Essa é chamada de segunda ordem de multiplexação ou, simplesmente, E2.

Posteriormente discutimos que sistemas plesiossíncronos não sincronizam chaves, mas apenas utilizam relógios altamente precisos para todo o chaveamento de nós tal que a taxa de escorregamento entre os nós seja aceitavelmente baixa. Note que a expansão de um sistema desta tecnologia exige uma precisão cada vez maior, pois a taxa de escorregamento aumentará com a complexidade do sistema. A vantagem direta deste modo de operação é a facilidade de desenvolvimento, e não é preciso distribuir controle de tempo sobre a própria rede. Por outro lado, redes plesiossíncronas carregam o fardo da necessidade de se utilizar fontes de tempo independentes altamente precisas, e os componentes necessários para alcançar uma taxa de escorregamento aceitavelmente baixa aumentam com a complexidade do sistema.

Logo em seguida, vimos que existem alternativas bastante atrativas para os sistemas plesiossíncronos. A multiplexação digital síncrona (SDH – *Synchronous Digital Multiplexing*) supre certas deficiências do sistema PDH. O padrão SDH define taxas de transmissão, formato de sinal, estruturas de multiplexação para as interfaces de nó da rede. A padronização do SDH é adequada para o gerenciamento efetivo pelos operadores de rede do custo do crescimento em largura de banda e previsão de novos serviços para os clientes. Outra vantagem evidente do SDH é a capacidade de se ganhar acesso a um canal

dentro do agrupamento. Em outras palavras, retirar e inserir algo no agrupamento sem a necessidade de um procedimento completo de demultiplexação. A multiplexação SDH combina sinais digitais de baixa velocidade como 2, 34 e 140 Mbps com a sobrecarga necessária para formar um quadro chamado módulo síncrono de transporte no nível 1 (STM-1).

As desvantagens do PDH já eram conhecidas desde 1980, quando se começou a pensar na padronização no sistema de sincronização do SDH. Na padronização, acordou-se que as taxas de bit seriam unificadas para fazer com que a sincronização dos novos sistemas pudesse ser interfaceada entre os sistemas T1 e E1. Assim, a substituição de equipamentos seria gradativa, gerando economia na expansão e manutenção do sistema.

Avançando na prática

Planejamento de PABX

Descrição da situação-problema

A Falamais Telecom foi contratada para planejar um sistema de PABX para a empresa VendeMais. O perfil da hora de maior movimento desta empresa é descrito de acordo com o quadro a seguir:

Origem	Nº de chamadas	Duração
Vendas	238	5 minutos
Financeiro	30	20 minutos
Suporte	50	15 minutos

Calcule a quantidade de linhas necessárias para que se tenha uma taxa de bloqueio de apenas 2%.

Resolução da situação-problema

Devemos começar a resolução deste problema calculando a intensidade de tráfego de acordo com os dados oferecidos pela tabela como

$$A = \frac{238 \times 5 + 30 \times 20 + 50 \times 15}{60} = 42,3 \text{ Erlangs}$$

Em seguida, utilizamos a fórmula de Erlang B para calcularmos a quantidade de linhas necessárias para uma probabilidade de 2%. Logo, $P_b = 0,02$.

Sendo a fórmula de P_b complexa de ser formulada, devemos consultar a tabela Erlang B. De acordo com a tabela em em Jeszensky, (2004), temos que para $P_b = 0,02$ e uma intensidade de tráfego $A = 42,3$ a quantidade de linhas necessárias é de 53.

Faça valer a pena

1. O mecanismo de transporte pode variar desde um sistema simples de canal único até uma rede complexa de comunicação, consistindo de muitos circuitos, dispositivos de chaveamento e outros componentes. A comunicação de um dispositivo com o outro pode acontecer de diversas maneiras, podendo ser simultânea ou não.

Qual é a alternativa correta, que representa o modo de comunicação de um telefone de linha?

a) Simplex.

b) Monoplex.

c) Full Duplex.

d) Half Duplex.

e) Triplex.

2. Muitas vezes, o projetista de sistemas de telecomunicações foca nos problemas exclusivos do canal, como distorção do sinal ou degradação pelo ruído. A manipulação de vários canais também é um problema muito importante.

De acordo com o texto, marque a alternativa correta sobre o tipo de comunicação de um sistema de difusão de rádio na ordem de transmissão para recepção.

a) Um ponto para múltiplos pontos.

b) Muitos pontos para poucos pontos.

c) Muitos pontos para um ponto.

d) Um ponto para outro ponto.

e) Poucos pontos para muitos pontos.

3. Uma rede de telefone pode possuir tamanho variado. Quando surge uma necessidade de compartilhamento de informações entre vários indivíduos, uma rede de comunicações facilita a comunicação entre os usuários. A rede pode ter uma infraestrutura limitada geograficamente, por exemplo, uma rede pública de telefonia comutada.

Qual das alternativas a seguir representa um sistema utilizado como um sistema privado para comunicações internas de uma empresa.

a) TDD.

b) SSDI.

c) PHDA.

d) PABX.

e) EPS.

Seção 4.2

Comunicações móveis

Diálogo aberto

Caro estudante!

Na seção anterior, você estudou a classificação da rede telefônica. Inicialmente, conhecemos como funcionam os entroncamentos telefônicos e como se desenvolveram para a tecnologia digital para atender a uma grande escala de assinantes. Depois, entendemos também as hierarquias telefônicas, que permitem agrupar um grande número de canais em apenas uma via. Finalmente, fechamos a seção falando sobre como dimensionar a demanda por chamadas para uma central telefônica.

Nesta nova seção vamos descrever as principais características dos sistemas de comunicação celular. Vamos apresentar os componentes básicos que constituem uma rede de celulares e vamos entender como funcionam as estações rádio-base, as estações móveis e a infraestrutura, que controla as chamadas de usuário para usuário. Vamos apresentar também noções sobre o dimensionamento do sistema celular. Vamos fechar a seção falando sobre as várias gerações de sistemas de celular e suas características mais importantes.

Seu último desafio na FalaMais Telecom foi superado com muito sucesso. A empresa possui agora um banco de sistemas renovados com tecnologia digital. O próximo passo importante será a implementação de um importante projeto para a expansão da rede de acesso móvel em uma nova região da cidade. Você vai precisar dimensionar a nova rede celular sabendo que a interferência média de cocanal é de 18 dB, o expoente de atenuação daquela região é de 5 vezes, o número de interferentes efetivos é de 2 e que a área de cobertura é de 64 km^2. O projeto orçamentário da FalaMais para a nova rede contempla a instalação de até 15 estações rádio-base e há uma disponibilidade de 100 canais.

Vamos lá?

Não pode faltar

Os sistemas de acesso sem fio são atualmente muito importantes para a sociedade. O sistema celular de comunicação leva ao usuário uma liberdade flexível de se comunicar por longas distâncias dentro de uma determinada área. Além disso, com o advento do acesso à internet, essa flexibilidade também se estende ao acesso à informação. Com relação aos sistemas convencionais de comunicação, o acesso sem fio faz com que o custo por conexão seja mais uniforme, variando menos com a distância e a densidade de assinantes. Muitos serviços novos são frequentemente impedidos de serem entregues para os clientes devido à limitação de desempenho da planta de acesso por fios de cobre. Um assinante pode obter serviço em um tempo muito menor pelo sistema sem fio em relação ao sistema convencional por cabos.

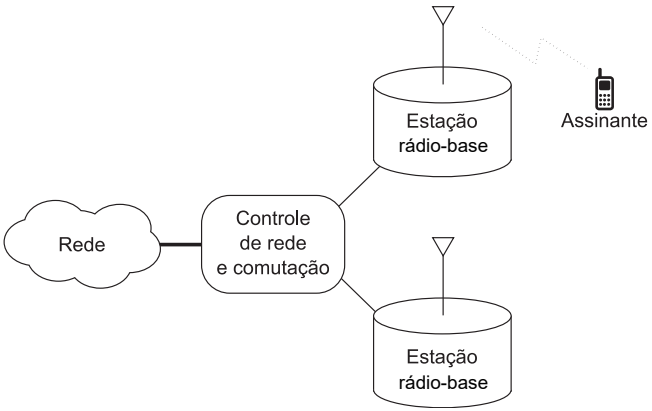
Reflita

A tecnologia móvel facilita a vida das pessoas e participa de nosso cotidiano de forma quase invisível (utilizamos a internet móvel para realizar pagamentos ou acessar informações diversas). Mas, e o aspecto negativo? Tome um tempo para refletir sobre questões relacionadas com a segurança e a privacidade. Qual é o impacto destes aspectos na sociedade?

Entretanto, há algumas desvantagens sobre os sistemas sem fio que devem ser ponderadas. Sistemas sem fio requerem equipamentos sofisticados, um plano elaborado, medidas de campo e pesquisas. A situação é ainda mais complicada por burocracias associadas ao espectro, problemas de propagação de rádio e a demanda por acesso à internet e serviços de multimídia exigindo a existência de uma largura de banda muito maior que aquela existente no serviço de voz tradicional.

Um sistema básico de celular é ilustrado pelo diagrama de blocos da Figura 4.5, mostrando um modelo simples de um sistema de acesso sem fio e seus três componentes básicos, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.5 | Diagrama de blocos básico de um sistema celular



Fonte: elaborada pelo autor.

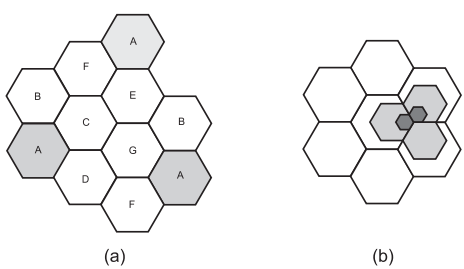
A função da estação rádio-base é de controlar o tráfego de mensagens de usuário (voz, imagens ou dados) para transmissão e/ou recepção em canal de rádio, permitindo que haja o estabelecimento de circuitos sem fio entre o assinante e a rede. A estação rádio-base, ou local da célula, é um transceptor que irradia sinal sobre sua área de cobertura. O tamanho da área de coberta pode se estender por algumas centenas de metros até dezenas de quilômetros irradiando sinal omnidirecional ou por setores. Sistemas modernos sem fio utilizam um sofisticado sistema adaptativo de direcionamento de sinais para operar em um ambiente altamente congestionado. Feixes de sinais estreitos podem ser transmitidos para usuários em localizações geográficas diferentes. As estações-base são ligadas a um centro de comutação móvel e uma rede de controle via enlaces de alta capacidade capacidade, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

A rede de controle gerencia inteiramente a operação do sistema de acesso sem fio, provendo a interconexão entre a rede interna e as redes externas. Este determina a associação de circuitos individual para assinantes e monitora o desempenho do sistema. As redes externas a que o sistema de acesso sem fio pode se conectar são a rede de telefone pública comutável, uma rede privada local ou a internet, como apontam Kularatna e Dias (2004).

Um sistema de celular é um sistema terrestre de alta capacidade no qual o espectro de frequência disponível é particionado em canais

discretos e associados em grupos para células que cobrem uma área geográfica de serviço. Os grupos de canais podem ser reutilizados em células diferentes dentro da área de serviço. Todos os móveis dentro da célula se comunicam com a estação-base. Os transmissores em células adjacentes operam em frequências diferentes para evitar interferência. Como a potência de transmissão e a altura da antena em cada célula são relativamente baixas, células que estão suficientemente afastadas podem reutilizar as mesmas frequências sem causar interferência de cocanal inaceitável. O propósito principal para definir células em um sistema de comunicação é delinear áreas nas quais canais específicos serão utilizados. Uma quantidade de confinamento geográfico razoável do uso de canal é necessária para prevenir interferência. Um diagrama da frequência de reuso é ilustrado na Figura 4.6(a). Na prática, a célula não corresponde à perfeita geometria celular devido às características de terreno e obstruções. Entretanto, devido ao propósito de planejamento, a consideração de uma estrutura regular de células é necessária. O formato regular poligonal cobre uma área sem que haja espaços vazios ou superposição do sinal e, portanto, é melhor que a forma circular, que pode levar a ambiguidades em cobertura, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.6 | Diagrama da frequência de reuso em sistemas celulares e divisão de células



Fonte: elaborada pelo autor.

Aqui, as células contendo as mesmas letras usam as mesmas frequências e são chamadas de células de cocanal. Um grupo de células utilizando todas as frequências disponíveis é chamado de cluster. Pelo reúso de frequência, um sistema celular em uma área de serviço pode manipular um número de ligações simultâneas muito superiores ao número total de canais alocados. Se houver a necessidade de crescimento de tráfego no interior da célula, então

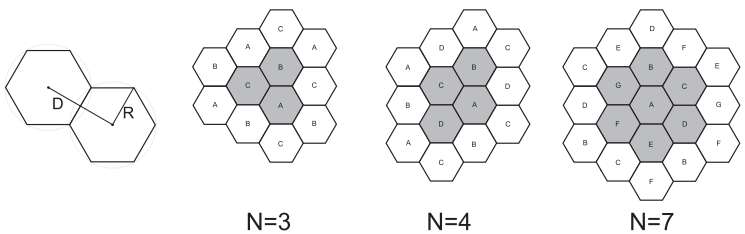
uma revisão é necessária para avaliar os limites da célula tal que a área da célula possa formar múltiplas células. A Figura 4.6(b) mostra diferentes estágios da divisão de células, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

No padrão de reúso, todas as células de cocanal são equidistantes uma da outra. Para alcançar isso, o padrão de reúso deve satisfazer:

$$N = i^2 + j^2 + ij \qquad (4.1)$$

onde i e j são inteiros, tais que $i, j \geq 0$. Estes são chamados de parâmetros de deslocamento. A Figura 4.7 mostra clusters ou padrões de frequência de reúso para os tamanhos 3, 4 e 7.

Figura 4.7 | Representação de clusters para diferentes parâmetros de deslocamento



Fonte: elaborada pelo autor.

A relação entre a distância dos centros de células de cocanal vizinhas, representada por D, e o tamanho do raio da célula, representado por R, é chamada de taxa de reúso de cocanal e está ligada ao padrão de uso por

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N} \qquad (4.2)$$

Em sistemas práticos, a escolha de N é governada por certas considerações na interferência de cocanal. Uma medida comum de interferência é a relação portadora-interferência (CIR – *Carrier to Frequency Interference*). À medida em que N aumenta, a separação relativa $\frac{D}{R}$ entre as células de cocanal aumenta e, consequentemente, a CIR reduz. Entretanto, ao mesmo tempo, o reúso de frequência geográfica torna-se menor. Portanto, a seleção de N torna-se um compromisso importante entre a qualidade e a capacidade, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Assimile

Lembre-se: células devem estar separadas o suficiente para evitar a interferência de cocanal. Por outro lado, essa separação tem um limite para que haja uma distribuição geográfica de frequências adequada.

A transição entre as células é um processo importante para permitir a mobilidade do assinante e é chamado de transferência (*handoff*). Desta forma, é possível transferir uma ligação de uma célula para outra sem interrupção enquanto a ligação está em progresso. Este processo envolve o monitoramento da potência do sinal e uma transferência suave para outro canal em uma célula diferente. Durante uma chamada, a estação-base em serviço monitora a força e a qualidade do sinal do aparelho móvel pelo CIR. Se o CIR cai abaixo de um nível predeterminado, este requisita o processo de transferência para a chamada corrente. Se outra estação-base reportar que existe uma CIR melhor do que a que está em serviço, o sistema encontra um canal livre para que a chamada seja transferida e informa isso para a estação-base que está solicitando o processo de *handoff*. Um sinal de mensagem é enviado ao móvel pelo canal de voz a partir da estação-base em serviço, solicitando que o aparelho móvel sintonize para um novo canal de voz. O móvel sintoniza para um canal novo enquanto o sistema comuta a chamada para a nova estação-base. A interrupção e a mudança do canal de voz são imperceptíveis para o usuário. Um processo de *handoff* efetivo e confiável é uma característica essencial para um sistema de celular. Quando a estação-base detecta que a potência do aparelho móvel diminui progressivamente, esta requisita ao móvel que aumente seu nível potência de transmissão. Isso assegura que todas as transmissões dentro de uma célula utilizem os níveis mínimos de potência necessários em um dado tempo, o qual diminui significativamente a interferência média de cocanal. *Handoff* deve ser iniciado somente quando a potência do sinal torna-se menor que um nível no qual um móvel está transmitindo em seu nível máximo de potência, como apontam Kularatna e Dias (2004).

O sistema de celular deve funcionar bem em um ambiente não muito amistoso. Em ambientes urbanos, em que a densidade de assinantes é alta, a linha de visada é um luxo com o qual o projetista

de sistema não pode contar. O sinal de rádio está sujeito a vários efeitos provocados pela presença de muitas estruturas produzidas pelo homem e outros corpos grandes que refletem e obstruem. Podemos fazer uma classificação geral destes efeitos, de acordo com Kularatna e Dias (2004).:

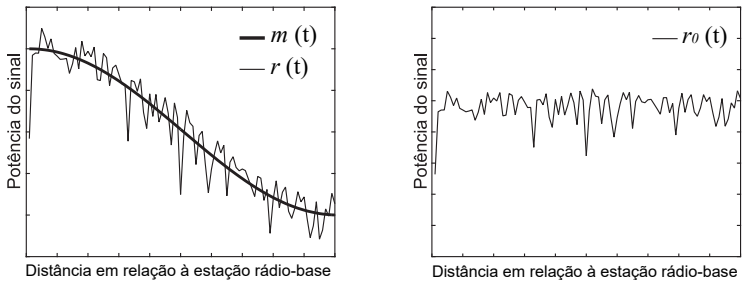
- Propagação por múltiplo percurso e desvanecimento.
- Perda por percurso.
- Interferência.

A recepção, na realidade, é o resultado de muitos sinais viajando por múltiplos percursos que têm comprimentos diferentes e chegam com fases diferentes. Como resultado, os sinais podem se somar construtivamente em certa posição e destrutivamente logo adiante. Isso causa uma mudança rápida da potência do sinal recebido na medida em que o aparelho móvel se desloca. Esse efeito é denominado de desvanecimento de multipercurso e causa a degradação no sinal que depende da relação entre a largura de banda do sinal e as características de desvanecimento do ambiente. Estes problemas podem ser combatidos com o uso de equalização de canal ou a utilização de múltiplas antenas. Podemos dizer que o sinal recebido é a combinação de dois efeitos principais: o desvanecimento de grande escala (lento) e o de pequena escala (rápido). Para ilustrar o resultado destes efeitos, tomamos um sinal recebido particionado em duas partes como:

$$r(t) = m(t)r_0(t) \qquad (4.3)$$

A Figura 4.8 mostra o sinal recebido particionado em desvanecimento rápido e lento.

Figura 4.8 | Representação do sinal devido ao desvanecimento por múltiplos percursos



Fonte: elaborada pelo autor.

As funções $m(t)$ e $r_0(t)$ são as componentes de desvanecimento lento e rápido, respectivamente; $m(t)$ é obtido calculando-se a média local em cada ponto e $r_0(t)$ é obtido subtraindo-se $m(t)$ de $r(t)$. O aparelho móvel que se desloca em uma área ampla deve processar os sinais, que experimentam ambos os tipos de desvanecimento. A manifestação do desvanecimento depende da natureza física do ambiente, das características do sinal sendo transmitidos e da mobilidade do usuário, de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Exemplificando

O efeito do desvanecimento pode ser observado de maneira muito simples. Por exemplo, ao viajar de carro é possível perceber variações rápidas do sinal quando se sintoniza uma estação de FM, que se distancia na medida em que o carro se desloca. Nesta escala, o desvanecimento é provocado pelo sinal refletido por obstáculos presentes na região, e a combinação construtiva ou destrutiva das frentes de onda resulta no efeito de vaivém do volume de áudio recebido pelo rádio.

No espaço livre, a amplitude do sinal de rádio segue uma lei bem conhecida como a lei do inverso do quadrado da distância e pode ser expressa como:

$$L = 32 + 20\log f_{MHz} + 20\log d_{km} \qquad (4.4)$$

em que L é a potência do sinal à distância d_{km} em relação ao transmissor e f_{MHz} é a frequência da onda de rádio. Note que o último termo da equação (4.4) mostra que a perda de percurso aumenta por um fator de 20 dB para um aumento de dez vezes na distância. Infelizmente, o ambiente para um sistema celular é bem diferente do ambiente do espaço livre. A perda por percurso para um ambiente celular normalmente é modelada como:

$$L = n\log d_m - 20\log h_T h_R + \beta \qquad (4.5)$$

em que n é um expoente de propagação ($3 \le n \le 6$), h_R e h_T são as alturas das estações móveis e estação-base, respectivamente. $L = n\log d_m - 20\log h_T h_R + \beta$ está relacionado com a dependência pela frequência, irregularidades de superfície, obstáculos da linha de visada, estruturas urbanas, vegetação e características do terreno. O expoente de propagação, geralmente determinado por medidas em

campo, pode resultar em valores de atenuação entre 30 e 60 dB/ década e tem relação com o termo β de acordo com Kularatna e Dias (2004).

A interferência de cocanal em sistemas celulares é outro aspecto de grande importância. A frequência de reúso inevitavelmente provoca interferência em sistemas celulares. Nós mostramos anteriormente que quanto mais apertada for a frequência de reúso (por exemplo, um padrão de reúso N menor), maior será o número de canais disponíveis em uma dada área geográfica. Entretanto, com a diminuição de N, a interferência de cocanal se tornará mais forte devido à diminuição da distância de reúso. O desafio é, portanto, obter o menor valor de N possível para satisfazer os requisitos de desempenho do sistema de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Um parâmetro que determina o desempenho do sistema de celular é a CIR. A potência de portadora relaciona-se a um sinal que o móvel recebe da estação rádio-base em sua própria célula. A interferência consiste na somatória de todos os sinais que este recebe das células de cocanal. A média da razão de interferência de cocanal, referida como $\frac{C}{I}$ nas seguintes equações, em um ambiente celular, pode ser expressa como:

$$\frac{C}{I} = \frac{\left(\frac{D}{R}\right)^n}{N_I} \qquad (4.6)$$

em que $\frac{D}{R}$ é a taxa de reúso, n é o expoente de propagação e N_I é o número significativo de interferentes de cocanal. Utilizando a equação (4.2) podemos reescrever a equação (4.6) como

$$\frac{C}{I} = \frac{\left(\sqrt{3N}\right)^n}{N_I}. \qquad (4.7)$$

Portanto,

$$N = \frac{1}{3}\left\{\left[N_I\left(\frac{C}{I}\right)\right]^{1/n}\right\}^2. \qquad (4.8)$$

Esta é uma relação importante entre a qualidade do sinal $\frac{C}{I}$ e o

padrão de reúso N usado na busca pelo menor padrão de reúso possível necessária à qualidade do sinal. Entretanto, N deve ser o menor inteiro satisfazendo a equação (4.1) também , de acordo com Kularatna e Dias (2004).

Houve várias gerações de sistemas de celular desde o surgimento do primeiro equipamento móvel. A primeira geração era chamada de sistema de telefone móvel avançado (AMPS – *Advanced Mobile Phone System*), que operava com sistemas analógicos permitindo apenas a transmissão de voz. As características avançadas implementadas para este sistema foi a possibilidade de obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica de registro (*roaming*) e a transição entre células de forma imperceptível. A segunda geração de sistemas de celular (2G) utilizou transmissão de voz digital pela interface aérea devido aos avanços da codificação de voz. Além disso, avanços na tecnologia de circuitos integrados em larga escala e no hardware de processamento digital de sinais auxiliaram os complexos, e ainda compactos, sistemas eficientes em conservação de energia serem construídos por um baixo custo. A motivação inicial para o desenvolvimento da segunda geração de sistemas celulares foi a melhoria da capacidade de manipular a demanda excessiva por serviços móveis. A terceira geração de sistemas celulares (3G) focou na melhora significativa dos serviços que necessitam de uma internet rápida. Além do objetivo de aumentar a velocidade da comunicação, o novo projeto de sistema focou principalmente o acesso a serviços como ligação por vídeo, transmissão ao vivo, acesso à internet móvel confiável e TV por internet. A promessa para esse sistema seria a de alcançar uma velocidade mínima de 2 Mbit/s para usuários estacionários ou que caminham, e 348 kbit/s dentro de um veículo em movimento. Em seguida, a quarta geração de sistema celular (4G) focou no aumento da capacidade e na qualidade de serviço prometendo acesso de banda larga sem fio e conteúdo de TV de alta definição. O sistema passou a ser implantado totalmente sobre uma arquitetura IP com uma capacidade de taxa de dados entre 100 Mbit/s e 1 Gbit/s em ambientes internos e externos. Até este momento a quinta geração de sistemas celulares (5G) está sendo desenvolvida e contempla atender a uma demanda de usuários, capacidade, segurança e qualidade muito superiores quando comparados com as gerações anteriores, como aponta Rodriguez (2015).

Pesquise mais

A telecomunicação é a engrenagem do desenvolvimento da tecnologia e ciência moderna. Entretanto, realmente necessitamos da nova geração de sistemas móveis 5G? Será que o sistema 4G não seria o suficiente? Pesquise mais sobre este assunto no artigo *Next Generation: 5G, the Nanocore*. Neste artigo, você vai encontrar detalhes sobre a evolução da tecnologia sem fio e as últimas tendências sobre as redes 5G. Disponível em: <http://www.telecoms.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/05/5G_The_NanoCore.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

Sem medo de errar

Nós já sabemos que em um sistema de celular de alta capacidade o espectro de frequência disponível é particionado em canais discretos e associados em grupos para células que cobrem uma área geográfica de serviço. Os grupos de canais podem ser reutilizados em células diferentes dentro desta área. Todos os móveis dentro da célula se comunicam com a estação-base. Os transmissores em células adjacentes operam em frequências diferentes para evitar interferência. Como a potência de transmissão e a altura da antena em cada célula é relativamente baixa, células que estão suficientemente afastadas podem reutilizar as mesmas frequências sem causar interferência de cocanal muito prejudicial. Tendo estes elementos em mente, podemos trabalhar no projeto de expansão da rede de acesso móvel da FalaMais em uma nova região da cidade. Além disso, temos algumas informações do projeto: a interferência média de cocanal é de $\frac{C}{I} = 18$ dB, o expoente de atenuação daquela região é de $n = 5$ vezes, o número de interferentes efetivos é $N_I = 2$ e a área de cobertura é de $A_c = 64000$ km^2. O projeto orçamentário da FalaMais para a nova rede contempla a instalação de um número $N_{BS} = 15$ de estações rádio-base e há uma disponibilidade de $N_{CH} = 100$ canais.

Se a área de cobertura é de 64 km^2, poderemos encontrar o rádio da célula de uma estação rádio-base como:

$$R = \sqrt{\frac{A_c}{\pi N_{BS}}} = \sqrt{\frac{64000000}{\pi 15}} = 1165,4 \text{ metros}$$

Além disso, podemos encontrar a quantidade de células de um cluster que satisfaz uma $\frac{C}{I} = 18$ dB pela equação (4.8) do livro-texto como

$$N = \frac{1}{3}\left\{\left[N_I\left(\frac{C}{I}\right)\right]^{1/n}\right\}^2 = \frac{1}{3}\left\{\left[2\left(10^{18/10}\right)\right]^{1/5}\right\}^2 = 7 \cdot$$

Logo, são necessárias 7 células por cluster. A distância entre as células de cocanal pode ser calculada utilizando a equação (4.2) do livro-texto como

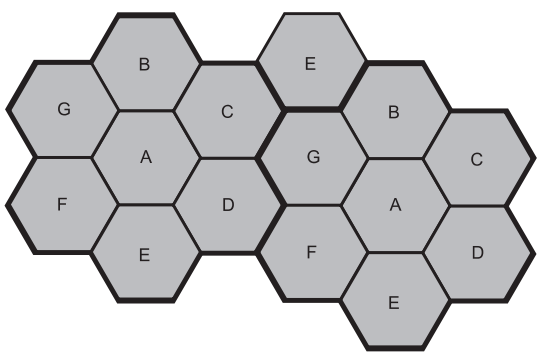
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N},$$

rearranjando, temos

$$D = R\sqrt{3N} = 1165,4\sqrt{3 \times 7} = 5340 \text{ metros.}$$

O padrão do mapa geográfico da cobertura celular pode ser observado na Figura 4.9.

Figura 4.9 | Mapa da cobertura celular da FalaMais



Fonte: elaborada pelo autor.

Note que temos 15 estações rádios-base contando com um número de dois clusters. Note também que há sempre um padrão de 3 saltos para sair de uma célula de cocanal para outra. Uma vez

que existem 100 canais disponíveis para uso, podemos calcular a quantidade de canais por célula como:

$$N_{CH/Cel} = \frac{N_{CH}}{N} = \frac{100}{7} \approx 14 .$$

Avançando na prática

Projeto de um sistema celular

Descrição da situação-problema

Projetistas de sistemas celulares estão realizando medidas em uma região urbana para adquirir alguns parâmetros para planejar uma nova rede para aparelhos móveis. As medidas avaliaram a dependência com frequência, irregularidades de superfície, obstáculos da linha de visada, estruturas urbanas, vegetação e características do terreno e um $\beta = 38$ dB. Além disso, encontrou-se um expoente de propagação $n = 5$. Considerando que o raio da célula é de 1.200 metros, você está incumbido de calcular a atenuação na borda da célula. Para este caso a altura da estação rádio-base é de 10 metros. Considere que a altura média de uma pessoa é 1,7 metros.

Resolução da situação-problema

Já sabemos que não é possível utilizar o modelo do espaço livre para calcular a atenuação em sistemas móveis. Felizmente, já aprendemos que o ambiente para um sistema celular é bem diferente do ambiente do espaço livre, e a perda por percurso para um ambiente celular é bem mais complexo que qualquer outro modelo de rádio. Vimos que podemos calcular a atenuação utilizando a equação (4.6):

$$L = n \log d_m - 20 \log h_T h_R + \beta$$

Sabemos também que, pelas medidas feitas pelos projetistas, temos um $\beta = 38$ dB e que o expoente de atenuação é $n = 5$. Considerando que $h_T = 10$ m seja a altura da estação rádio-base,

$h_T = 1,7$ m seja a altura média das pessoas e que a distância do centro até a borda da célula é $d_n = 1200$ m, podemos calcular a atenuação como

$$L = 5\log 1200 - 20\log\left(10 \times 1,7\right) + 38 = 28,8$$

Logo, na borda na célula há uma atenuação do sinal de 28,8 dB.

Faça valer a pena

1. Os sistemas de acesso sem fio são atualmente muito importantes para a sociedade. O sistema celular de comunicação leva o usuário a uma liberdade flexível de se comunicar por longas distâncias dentro de uma determinada área. Além disso, com o advento do acesso à internet, essa flexibilidade também se estende ao acesso à informação.

Marque a alternativa correta que indica a mídia de propagação utilizada pelos aparelhos móveis de celular.

a) Fibra óptica.

b) Sonar.

c) Aérea.

d) Sonoro.

e) Mecânica.

2. Sistemas celulares foram uma das maiores revoluções tecnológicas para a sociedade. Esta revolução permitiu a comunicação móvel e o acesso à informação de maneira instantânea com uma flexibilidade geográfica surpreendente. As redes móveis ainda estão em desenvolvimento e prometem surpresas ainda mais incríveis em um futuro próximo.

Com relação aos sistemas móveis sem fio, leia as seguintes afirmativas:

I – A rede sem fio torna o custo por conexão mais uniforme.

II – O acesso do assinante ao serviço é mais fácil em relação aos sistemas baseados em cabos.

III – O assinante está restrito a apenas a região de registro principal.

Marque a alternativa que possui somente afirmativas corretas:

a) Somente I.

b) Somente II.

c) II e III.

d) I e II.

e) I, II e III.

3. As redes de celulares são sistemas complexos. Normalmente, há uma enormidade de detalhes que devem ser contemplados para que o sistema funcione de forma confiável e com qualidade. As estruturas das construções, as folhas da vegetação, o movimento das pessoas e dos carros são os vários fatores que podem prejudicar a propagação do sinal de celular pelo ambiente.

Leia as seguintes afirmativas:

I – Sistemas sem fio requerem equipamentos sofisticados, um plano elaborado e medidas de campo.

II – O projeto de celular pode se complicar quando as questões burocráticas do espectro entram em jogo.

III – Controlar a interferência de cocanal é um grande desafio, que leva em conta múltiplos fatores.

Marque a alternativa que possui apenas afirmativas corretas:

a) Somente I.

b) Somente II.

c) Somente III.

d) I e III.

e) I, II e III.

Seção 4.3

Redes de comunicação de dados

Diálogo aberto

Caro estudante!

Na seção anterior, você estudou as principais características dos sistemas de comunicação celular. Apresentamos os componentes básicos que constituem uma rede de celulares e entendemos como funcionam as estações rádio-base, as estações móveis e a infraestrutura que controla as chamadas de usuário para usuário. Apresentamos também noções sobre o dimensionamento do sistema celular. Fechamos a seção falando sobre as várias gerações de sistemas de celular e suas características mais importantes.

Nesta nova seção vamos descrever as principais características dos elementos da arquitetura de rede e arquitetura de protocolos. Vamos apresentar os componentes básicos de uma rede de computadores e como esta pode se constituir em redes privadas e públicas. Além disso, vamos dar detalhes sobre os modelos nos quais as redes de computador são baseadas. Vamos começar explicando sobre o modelo OSI e, em seguida, o modelo TCP/IP.

A empresa Falamais Telecom tem agora uma excelente rede de telefonia celular com uma boa cobertura na cidade. Desta vez, outro projeto sobre sua responsabilidade considera o desenvolvimento de uma rede de comunicação de dados para uma rede bancária. Você deve apresentar como as informações irão fluir no sistema, passando por processos físicos e virtuais. Deve decidir também sobre maneira mais segura para o tráfego destas informações.

Vamos lá?

Não pode faltar

Cada um dos três séculos passados foi dominado por uma única tecnologia. O século XVIII foi a era dos grandes sistemas mecânicos, que acompanharam a Revolução Industrial. O século XIX foi a era das máquinas a vapor. Durante o século XX, a tecnologia-chave foi a coleta de informação, processamento e distribuição. Entre outros desenvolvimentos, observamos a instalação de redes mundiais de telefones, a invenção do rádio e televisão, o nascimento e crescimento espantoso da indústria de computadores e o lançamento das comunicações via satélite, como aponta Tanenbaum (2003).

Como resultado do progresso tecnológico rápido, estas áreas estão rapidamente convergindo e as diferenças entre coletar, transportar, armazenar e processar informações estão desaparecendo rapidamente. Organizações com centenas de escritórios espalhados sobre uma ampla área geográfica estão acostumadas a rotineiramente serem capazes de monitorar as condições até mesmo do posto de trabalho mais distante por apenas um toque de botão, de acordo com Tanenbaum (2003).

Antes de começar a examinar detalhes mais técnicos, é importante entender o motivo pelo qual as pessoas são interessadas em redes de computadores e o como estas podem ser utilizadas. A rede de computadores tem sido utilizada principalmente em aplicações de negócios. Muitas empresas têm um número substancial de computadores. Por exemplo, uma empresa pode ter computadores dedicados a monitorar a produção, manter o gerenciamento de inventário e fazer a folha de pagamento. Inicialmente, cada uma destas máquinas fazia seu trabalho em isolamento, mas por questões específicas de gerenciamento, decidiu-se que, a partir de um dado momento, seria melhor conectar estas estações para extrair e correlacionar informações sobre toda a empresa empresa, de acordo com Tanenbaum (2003).

Exemplificando

Fazer a contabilidade de uma empresa era uma tarefa árdua que exigia o esforço de vários funcionários trabalhando com ou sem calculadoras. Dependendo da época, poderiam ser mecânicas, valvuladas ou

eletrônicas. Assim, o trabalho humano ineficiente limitava a expansão dos negócios. A capacidade de computação das máquinas e a possibilidade de compartilhamento de informações pela rede possibilitaram um gerenciamento contábil muito superior, que tornou desnecessária grande parte do trabalho humano.

Colocando o problema de uma forma ligeiramente formal, a questão aqui é compartilhar recursos e o objetivo é fazer com que todos os programas, equipamentos e especialmente os dados estejam disponíveis para qualquer um, sem considerar a localização física do recurso ou do usuário. Um exemplo mais óbvio e comum é a utilização de uma impressora compartilhada por um grupo de funcionários de um escritório. Ninguém precisa realmente de uma impressora particular, e uma impressora de grande volume de produção é geralmente mais barata, rápida e fácil de manter do que impressoras individuais para cada funcionário, como aponta Tanenbaum (2003).

Aplicações residenciais foram também um setor que estimulou bastante o desenvolvimento de redes de computadores. As principais motivações para o uso da rede era acessar informações remotas, fazer comunicação pessoa a pessoa (MSN, ICQ, Skype), entretenimento interativo e comércio eletrônico. O comércio eletrônico vem sendo o de mais sucesso, em que usuários são capazes de inspecionar catálogos on-line de milhares de empresas. Alguns destes catálogos proveem vídeos com informações sobre os produtos que podem auxiliar na decisão da compra. Além disso, as empresas podem oferecer suporte remoto em caso de devolução, dúvidas sobre o uso ou garantias.

Outro segmento que cresce vertiginosamente é o do uso de *smartphones,* que disponibiliza um conjunto amplo de serviços móveis. Pessoas em ambientes externos necessitam utilizar equipamentos eletrônicos portáteis para enviar e receber chamadas telefônicas, e-mails, acessar a internet ou ler arquivos remotos. Devido às redes sem fio, é possível acessar informações sobre terra, mar ou ar. Por exemplo, na maioria das conferências os organizadores frequentemente estabelecem uma rede sem fio em uma área

apropriada. Qualquer um com um notebook ou *smartphone* precisa simplesmente solicitar um código para obter instantaneamente acesso à rede de internet, como aponta Tanenbaum (2003).

Um fato bastante natural sobre a tecnologia é que além de trazer soluções para problemas cotidianos, novos problemas também são criados. A ampla das redes de computadores introduziu um conjunto novo de problemas sociais, éticos e políticos. Sabemos que as redes podem ser utilizadas para compartilhar assuntos comuns como receitas culinárias e técnicas de jardinagem. Um grande problema surge quando grupos se formam em torno de tópicos sobre política, religião ou sexo. Neste caso, artigos ou mensagens postadas por estes indivíduos podem ser profundamente ofensivos para algumas pessoas. Ainda grave é o fato de não serem politicamente corretos. Além disso, mensagens não necessariamente estão limitadas ao texto. Fotos e vídeos podem ser facilmente se espalhar pelo compartilhamento de computador para computador. O conteúdo destas mensagens pode conter ataques a países ou religiões em particular ou pornografia. Este tipo de conteúdo é inaceitável e hoje é parte de um grande debate mundial para se criar soluções para estes problemas, de acordo com Tanenbaum (2003).

Reflita

Reflita sobre outras situações em que a tecnologia pode trazer soluções e também novos problemas. Seria a tecnologia uma armadilha para mais problemas ou um novo meio para encontrar soluções mais sofisticadas?

Outro aspecto importante da rede de computadores é que o acesso à internet permite encontrar informação rapidamente, mas a maior parte é incompleta, pode ser falsa ou equivocada. Por exemplo, uma dica médica encontrada em um texto da internet pode vir tanto de um ganhador do Prêmio Nobel de Medicina quanto de um estudante da segunda série. Redes de computadores também introduziram novo tipo de comportamento antissocial e criminoso. Lixo eletrônico (SPAM) tornou-se parte da vida devido ao fato de algumas pessoas terem colecionado milhões de endereços de e-mails para vendê-los a pseudopublicitários. Além disso, mensagens de e-mail com conteúdo ativo (por exemplo, programas básicos ou macros que executam na máquina do receptor) podem conter vírus para controlar e raptar informações importantes. Roubo de identidade

também está se tornando um problema sério pelo fato de bandidos coletarem informações suficientes da vítima para obter cartões de crédito ou outros documentos em nome da vítima. Finalmente, a possibilidade de transmitir vídeo e música digitalmente abriu as portas para um comportamento massivo de violação de direitos autorais, sendo difícil de encontrar os responsáveis e aplicar multas, como aponta Tanenbaum (2003).

Deixemos agora de lado as aplicações e aspectos sociais para focar nos aspectos técnicos que envolvem o projeto de redes. Conforme discutimos em seções anteriores, podemos falar, sobre a utilização nas redes, de dois tipos de tecnologia de transmissão amplamente utilizados: enlaces de difusão e ponto a ponto. Enlaces de difusão têm um canal único de comunicação que é compartilhado por todas as máquinas da rede. Em contraste, redes ponto a ponto consistem de muitas conexões entre os pares individuais de máquinas. Para que um pacote caminhe da fonte para o destino, é necessário que passe primeiro por vários terminais intermediários. Outro critério de classificação de rede é por escala. A Figura 4.10 classifica múltiplos sistemas de processamento por seu tamanho físico. No topo encontram-se as redes de área pessoal, isto é, redes que existem para apenas uma pessoa. Por exemplo, uma rede sem fio que conecta um mouse, um teclado e uma impressora é uma rede de área pessoal. Depois da rede de área pessoal temos as redes de maior alcance. Estas podem ser divididas em local, metropolitana e ampla. Finalmente, a conexão de duas ou mais redes é chamada de *internetwork*. A internet mundial é um exemplo bem conhecido de *internetwork*. Distância é uma métrica importante de classificação pelo fato de técnicas diferentes serem utilizadas em escalas diferentes, como aponta Tanenbaum (2003).

Figura 4.10 | Classificação de processadores interconectados por escala

Distância entre processadores	Processadores no mesmo local	
1 m	Metro quadrado	Área de rede pessoal
10 m	Quarto	Área de rede local
100 m	Prédio	
1 km	Campus	
10 km	Cidade	Área de rede metropolitana
100 km	País	Área de rede ampla
1000 km	Continente	
10000 km	Planeta	Internet

Fonte: elaborada pelo autor.

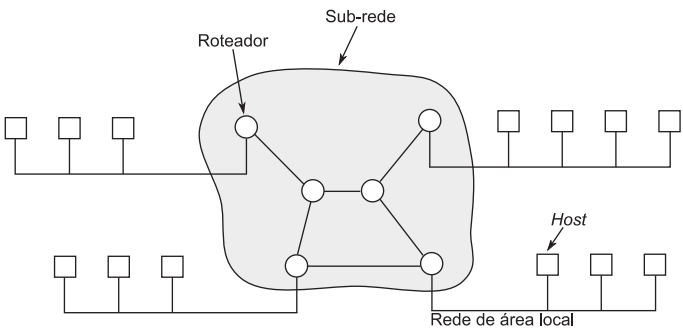
As redes de área local são redes privadas dentro de um único prédio ou campus de até uns poucos quilômetros de tamanho. Esta rede é amplamente utilizada para conectar computadores pessoais e estações de trabalho em empresas, universidades e indústrias para compartilhar recursos (por exemplo, impressoras, escâner) e informações. As redes de área local geralmente utilizam uma tecnologia de transmissão consistindo de um cabo, o qual conecta todas as máquinas. Estas redes funcionam tradicionalmente a uma velocidade entre 10 Mbps e 100 Mbps, têm baixo atraso (entre microssegundos a nanossegundos) e possuem baixa probabilidade de erro. Novas redes de área local podem até mesmo atingir velocidade de 10 Gbps, como aponta Tanenbaum (2003).

A rede de área metropolitana cobre uma cidade. O melhor exemplo conhecido de uma rede metropolitana é a TV a cabo disponível em várias cidades. Este sistema cresceu de um sistema comunitário de antenas utilizado em áreas com uma recepção de TV ruim. O crescimento deste tipo de negócio levou a uma transformação no sistema de difusão, no qual se pode prover transmissão em dois sentidos e possibilitar o oferecimento de serviço de internet. Assim, a partir de certo ponto, o sistema de TV a cabo transformou-se de uma maneira de distribuir TV para uma rede de área metropolitana, de acordo com Tanenbaum (2003).

Uma rede de área ampla abrange uma grande área geográfica, do tamanho de um país ou continente. Esta contém uma coleção de máquinas com o propósito de executar programas de usuários. Estas máquinas são tradicionalmente chamadas de hosts e são conectadas a uma sub-rede de comunicação. Nesta situação, os hosts pertencem aos clientes enquanto que as sub-redes pertencem e são operadas pelas empresas de telefone ou provedores de serviço de internet. O trabalho das sub-redes é transportar mensagens de host para host. A maioria das redes de área ampla a sub-rede consiste de dois componentes distintos: linhas de transmissão e elementos comutadores. Linhas de transmissão movem bits entre máquinas e podem ser vias de cobre, fibra óptica ou enlaces de rádio. Elementos comutadores são computadores especializados que conectam três ou mais linhas de transmissão. Atualmente, estes elementos comutadores são denominados de roteadores, e a combinação de vários deles tenta gerenciar um percurso de dados que seja o mais curto e confiável possível. A Figura 4.11 mostra um modelo que

conecta redes de área local com outras do mesmo tipo por meio de uma sub-rede. Assim, uma coleção de linhas de comunicação e um conjunto de roteadores formam uma sub-rede, como aponta Tanenbaum (2003).

Figura 4.11 | Relação entre hosts de uma rede de área local com a sub-rede



Fonte: elaborada pelo autor.

As primeiras versões das redes de computadores estavam mais orientadas no projeto de hardware do que com as questões de software. Esta estratégia não durou por muito tempo e hoje as redes são altamente estruturadas em software. Desta forma, para reduzir a complexidade de projeto, a maioria das redes é organizada em pilhas de camadas construídas umas sobre as outras. O número de cada camada, o nome de cada camada, os conteúdos de cada camada e a função de cada uma difere de rede para rede. O propósito de cada uma é oferecer certos serviços para as camadas superiores, poupando as outras daqueles detalhes de como os serviços oferecidos são realmente implementados, como aponta Tanenbaum (2003).

Assimile

As redes são principalmente definidas por sua ocupação geográfica. Dependendo do tamanho da rede, ela pode empregar tecnologias diferentes. Redes locais são conectadas umas com as outras por sub-redes. Isso é possível devido aos roteadores, que fazem o encaminhamento dos pacotes para os destinos corretamente.

Conhecendo estes princípios, podemos agora falar sobre os modelos de referência. Vamos discutir sobre dois modelos importantes: o modelo de referência OSI e o TCP/IP. Embora os protocolos associados com o modelo OSI são raramente utilizados, o modelo por si mesmo é bem geral e ainda válido, e a discussão de suas características é muito importante. Já o modelo TCP/IP tem a propriedade oposta, em que o foco é maior nos protocolos do que no modelo, como aponta Tanenbaum (2003).

O modelo OSI tem sete camadas. Os princípios que foram aplicados para se chegar à conclusão da existência de sete camadas podem ser resumidos como segue:

1. Uma camada deve ser criada quando uma abstração diferente é necessária.
2. Cada camada deve desempenhar uma função muito bem definida.
3. A função de cada camada deve ser escolhida com vistas para a padronização internacional de protocolos.
4. Os limites das camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informação entre as interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande o suficiente para comportar todas as diferentes funções necessárias e pequenas o suficiente para não se tornar pesado.

Discutimos a seguir sobre cada camada do modelo começando pelo nível mais baixo. Note que o modelo OSI não é uma arquitetura de rede porque não especifica exatamente serviços e protocolos a serem utilizados em cada camada.

A camada física – A camada física se preocupa com a transmissão de bits no canal de comunicação. As questões típicas desta camada são definir o nível de tensão adequado para representar os bits, como a conexão inicial é estabelecida, qual é o tempo de duração dos bits e outros vários aspectos. Os problemas de projeto aqui lidam com mecânica, elétrica, interfaces e tudo que está relacionado com a camada física, como aponta Tanenbaum (2003).

A camada de dados – A principal tarefa da camada de dados é transformar uma transmissão bruta em uma transmissão líquida livre de erros na camada de rede. Isso é conseguido quebrando-se a sequência de dados em quadros, que são verificados a cada

transmissão. Se a transmissão foi confiável, então o receptor confirma que o frame está correto, enviando de volta uma confirmação, de acordo com Tanenbaum (2003).

A camada de rede – A camada de rede controla a operação da sub-rede. O problema de projeto-chave é determinar como os pacotes são roteados da fonte até o destino. Rotas podem ser baseadas em tabelas estáticas ou dinâmicas dependendo da tecnologia empregada nesta camada. Quando um pacote viaja de uma rede para outra, muitos problemas podem acontecer. O endereçamento da segunda rede pode ser diferente do da rede de origem. A outra rede pode não aceitar o pacote devido a restrições de tamanho de pacote ou os protocolos podem ser diferentes. É tarefa da camada de rede superar estes problemas para permitir que redes heterogêneas possam ser interconectadas, como aponta Tanenbaum (2003).

A camada de transporte – A função básica da camada de transporte é receber dados, dividi-los em pedaços menores, passar pela camada de rede e assegurar que todas as peças vão chegar corretamente no receptor. Ademais, tudo isso deve ser feito de maneira eficiente e de uma forma isolada das camadas superiores tal que seja independente da tecnologia de hardware, como aponta Tanenbaum (2003).

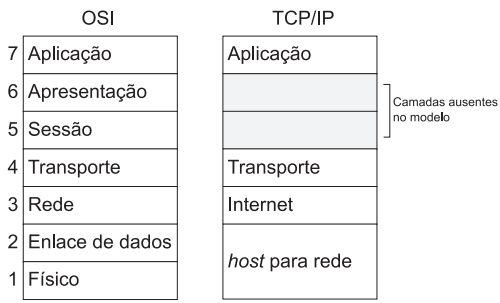
A camada de sessão – A camada de sessão permite que usuários em máquinas diferentes estabeleçam sessões entre si. Sessões oferecem vários serviços, como controle de diálogo, gerenciamento de turno e sincronização, de acordo com Tanenbaum (2003).

A camada de apresentação – Diferentemente das outras camadas, as quais estão focadas em transportar bits, a camada de apresentação está focada na sintaxe e semântica da informação a ser transmitida. Para tornar possível a comunicação de computadores com representação de dados diferentes, os dados são estruturados de uma forma abstrata. A camada de apresentação gerencia estas estruturas de dados abstratas e permite estrutura de dados em alto nível, como aponta Tanenbaum (2003).

A camada de aplicação – A camada de aplicação contém uma variedade de protocolos que são regularmente necessários para os usuários. Um protocolo amplamente utilizado é o de transferência de hipertexto (HTTP – *HyperText Transfer Protocol*) o qual é a base de toda a web mundial, de acordo com Tanenbaum (2003).

O modelo TCP/IP herda muitas características do modelo OSI. Os requisitos para a comunicação entre computadores levaram à escolha de uma rede baseada em comutação por pacotes por uma camada especial. Esta camada, chamada de camada de internet, é o pino mestre que segura toda a arquitetura junta. Esta tem o trabalho de permitir que hosts injetem pacotes em qualquer rede e assegurar que viajem independentemente do destino. A camada de internet define um formato de pacote oficial e um protocolo, chamado Protocolo de Internet (IP – *Internet Protocol*). O trabalho da camada de internet é entregar os pacotes IP a seus destinoscomo aponta Kularatna e Dias (2004).

Figura 4.12 | Comparação entre os modelos



Fonte: elaborada pelo autor.

A camada de transporte no modelo TCP/IP permite que as entidades pares estabeleçam uma conversa entre a fonte e o destino. Neste caso existem dois protocolos para este fim. O protocolo de transmissão (TCP – *Transmission Control Protocol*) é confiável que permite e uma sequência de bits originada de uma máquina seja entregue para outra sem erros. O segundo protocolo é o datagrama de usuário (UDP – *User Datagram Protocol*), que é inconfiável, não necessita de conexão, não garante sequência, mas tem a vantagem de ser rápido e simples. Este protocolo é comumente utilizado por aplicações de transmissão de voz ou vídeo, como aponta Tanenbaum (2003).

A camada de aplicação contém todos os protocolos de alto nível. Entre os primários estão o terminal virtual (TELNET), transferência de arquivo (FTP) e o correio eletrônico (SMTP). Outros protocolos foram adicionados com a evolução do serviço, como o sistema de nome de

domínio (DNS) e o protocolo de páginas de web (HTTP) como aponta Tanenbaum (2003).

A camada de host para rede é um grande vazio. O modelo de referência TCP/IP não especifica muitos detalhes sobre esta camada, exceto dizendo que o host se conecta na rede utilizando algum protocolo tal que se possam enviar pacotes IP por meio dele. Este protocolo não é necessariamente definido e pode mudar de host para host como aponta Tanenbaum (2003).

Pesquise mais

Os grandes inventores que iniciaram as grandes descobertas da telecomunicação acreditavam que estavam diante de um meio que iria promover mais integração entre as pessoas e uma maior e mais livre circulação de informação. Descubra mais sobre este assunto no primeiro capítulo do livro *Impérios da comunicação: do telefone à internet, da AT&T ao Google*, que introduz você nesta interessante história de desenvolvimento das tecnologias de comunicação.

Sem medo de errar

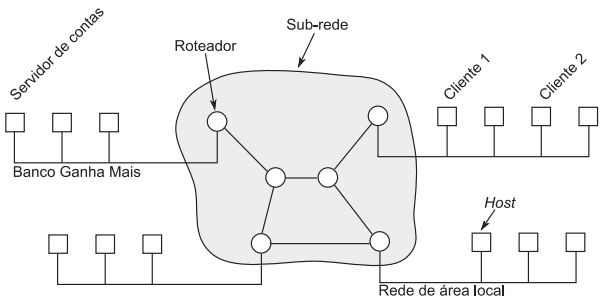
No próximo projeto sobre sua responsabilidade, considera-se o desenvolvimento de uma rede de comunicação de dados para uma rede bancária, mas antes devemos entender um pouco sobre as necessidades bancárias.

Bancos são empresas importantes, necessárias para gerenciar o fluxo de valores entre indivíduos e instituições. No Brasil, as instituições financeiras utilizam a internet em benefício de seus negócios desde 1995. A interação entre o cliente e o banco é chamada de *internet banking*. O *internet banking* é a utilização da internet para oferta de serviços bancários e é considerado uma inovação tecnológica incorporada aos serviços bancários da última década. Por um lado, existe a grande conveniência oferecida aos clientes ao poder acessar serviços bancários a partir de um terminal móvel e, por outro lado, para o banco, há vantagens de economia, precisão e automação

de serviços bancários. Isso tudo é resultado do, conforme vimos anteriormente, rápido progresso tecnológico sobre os processos de coletar, transportar e processar informações. Além disso, sendo os bancos empresas de grande porte, existem centenas de escritórios espalhados sobre uma ampla área geográfica e que estão acostumados rotineiramente a monitorar as condições de todo o fluxo de trabalho financeiro no mais remoto posto de trabalho.

Com o objetivo de apresentar como as informações irão fluir no sistema, passando por processos físicos e virtuais, devemos nos lembrar do que vimos sobre a abrangência geográfica e redes. No caso do acesso do cliente ao banco, devemos nos focar em uma rede de área ampla. Vimos que esta tem uma coleção de máquinas com o propósito de executar programas de usuários. Vimos que estas máquinas são chamadas de hosts e são conectadas a uma sub-rede de comunicação. Vimos também que nestas redes existem linhas de transmissão e elementos comutadores. Linhas de transmissão movem bits entre máquinas e podem ser vias de cobre, fibra óptica ou enlaces de rádio. Elementos comutadores são computadores especializados que conectam três ou mais linhas de transmissão. Atualmente, estes elementos comutadores são denominados de roteadores, e a combinação de vários deles tenta gerenciar um percurso de dados que seja o mais curto e confiável possível. A Figura 4.13 mostra um modelo de como seria o acesso do cliente ao banco por meio de redes de acesso local e uma rede de área ampla.

Figura 4.13 | Comparação entre os modelos



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

TV a cabo contra a internet

Descrição da situação-problema

Carlos era um funcionário de uma grande empresa que oferecia serviços de TV a cabo e internet. Ele também é um entusiasta da distribuição de mídia pela internet e acredita que o uso do sistema de TV a cabo não vai progredir muito daqui para frente e que será substituído por serviços de *streaming* pela internet. Carlos deseja empreender em um novo negócio, mas não entende muito sobre a internet e arquitetura de redes. Desta forma, você será responsável por ajudá-lo a entender qual é a melhor forma de fazer transmissão de vídeo pela internet.

Resolução da situação-problema

Você explica ao Carlos que *streaming* pela internet é uma tecnologia que transporta informações de multimídia utilizando redes de computadores, especialmente a internet. Um dos melhores exemplos de serviço *streaming* é o site Youtube.com. Este site utiliza tecnologia de *streaming* para transmitir vídeos para uma infinidade de usuários.

Neste momento é muito importante entender a origem da palavra *streaming*. Esta vem do inglês que significa fluxo (corrente, córrego), o que remete sempre a um fluxo contínuo de dados. Logo, vai haver *stream* de dados enquanto houver a existência da transmissão de um programa (por exemplo, show de calouros, filme ou futebol).

Para *streaming* de vídeo, a escolha do protocolo de transporte é tão importante quanto à escolha de algoritmos e estruturas de dados necessários para o funcionamento da aplicação. O estudo do desempenho de protocolos de rede de transportes é essencial para o desenvolvimento de protocolos tolerantes a falhas. Escolher o protocolo TCP, por exemplo, é uma grande falha pelo fato de este protocolo ter uma complexa estrutura para garantir confiabilidade na entrega e acaba sendo lento demais. O protocolo datagrama de usuário (UDP – *User Datagram Protocol*), que é inconfiável, não

necessita de conexão, não garante sequência, mas tem a vantagem de ser rápido e simples. Desta forma, este é o protocolo mais geral escolhido para transmissões *streaming* devido à sua popularidade, velocidade e sua tolerância à perda.

Faça valer a pena

1. Como resultado do progresso tecnológico rápido, estas áreas estão rapidamente convergindo e as diferenças entre coletar, transportar, armazenar e processar informação estão desaparecendo rapidamente. Organizações com centenas de escritórios espalhados sobre uma ampla área geográfica estão acostumadas a rotineiramente serem capazes de monitorar as condições até mesmo do posto de trabalho mais distante por apenas um toque de botão.

Leia as seguintes afirmativas:

I – A tecnologia da informação aumenta a quantidade de trabalho humano proporcional a sua demanda.

II – A tecnologia da informação permite um crescimento empresarial que seria difícil se houvesse somente trabalho humano.

III – O uso da tecnologia da informação supera o recurso humano em questão de trabalho em escala e eficiência.

Marque a alternativa com afirmativa(s) correta(s):

a) Somente I.

b) Somente III.

c) I e II.

d) II e III.

e) I, II, III

2. Um fato bastante natural sobre a tecnologia é que, além de trazer soluções para problemas cotidianos, novos problemas também são criados. As redes de computadores introduziram um conjunto novo de problemas sociais, éticos e políticos.

Marque a alternativa correta sobre um problema ético presente no uso da tecnologia da informação.

a) Testes em animais.

b) Venda de votos.

c) Corrupção ativa.

d) Roubo de identidade.

e) Suborno.

3. As primeiras versões das redes de computadores estavam mais orientadas ao projeto de hardware do que às questões de software. Esta estratégia não durou por muito tempo e hoje as redes são altamente estruturadas em software.

Aponte a alternativa que justifica esta transição da estratégia do hardware para o software.

a) Foi motivada por decisão política no momento de realizar a padronização.

b) Não havia recursos de hardware disponíveis para implementar uma rede.

c) O software pode substituir completamente o hardware neste quesito.

d) O software contribuiu para a redução da complexidade do projeto.

e) O hardware não tinha um processamento suficientemente rápido.

Referências

FREEMAN, Roger. **Fundamentals of telecommunications**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

JESZENSKY, Paul Jean Etienne. **Sistemas telefônicos**. Tamboré: Manole, 2004.

KULARATNA, Nihal; DIAS, Dileeka. **Essentials of modern telecommunications systems**. Londres: Artech House, 2004.

KUROSE, James F. **Redes de computadores e a internet**: uma nova abordagem. São Paulo: Pearson, 2004.

NAIR, G. P. Nano core-A Review on 5G Mobile Communications. **International Journal of Computer Science and Mobile Computing**, Índia, 17-18 dez. 2013. Disponível em: <http://ijcsmc.com/docs/papers/ICMIC13/ICMIC13S14.pdf> Acesso em: 22 nov. 2017.

RODRIGUEZ, Jonathan. **Fundamentals of 5G Mobile Networks**. Aveiro: Wiley, 2015.

TANENBAUM, Andrews S. **Computer networks**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

WU, Tim. **Impérios da comunicação**: do telefone à internet, da AT&T ao Google. New York: Zahar, 2012.

Anotações

Anotações

ISBN 978-85-522-0197-7

9 788552 201977 >