

Redes de Computadores

Introdução aos Sistemas de Comunicação Digitais

1.	FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO DIGITAL	4
1.1.	POR QUE A COMUNICAÇÃO É DIGITAL E BINÁRIA?	4
1.2.	O PAPEL DO <i>HARDWARE</i> : O MODELO DTE E DCE	5
1.3.	O PAPEL DO <i>SOFTWARE</i> : PROTOCOLOS E CONVENÇÕES	5
2.	OS QUATRO ELEMENTOS BÁSICOS DO CANAL	6
2.1.	EMISSOR	7
2.2.	RECEPTOR	8
2.3.	MEIO FÍSICO	8
2.4.	MENSAGEM	8
3.	PROPRIEDADES FÍSICAS E RESTRIÇÕES DOS MEIOS FÍSICOS	9
3.1.	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO	9
3.1.1.	<i>Estudo de Caso: Comunicação por Satélite</i>	10
3.2.	IMPEDÂNCIA E FREQUÊNCIA DE CORE (F_c)	11
3.3.	ATENUAÇÃO E RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (BANDA BASE X PASSANTE)	12
3.4.	TAXA DE SINALIZAÇÃO	13
3.4.1.	<i>Acoplamento de alta performance: Perdas de Inserção e Retorno</i>	16
3.5.	TAXA DE TRANSFERÊNCIA	17
3.6.	O LIMITE TEÓRICO: TEOREMA DE SHANNON	17
3.7.	MEIOS FÍSICOS – CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ALCANCE	18
3.7.1.	<i>Redes Locais (LAN – Local Area Network)</i>	18
3.7.2.	<i>Redes de Área Estendida (WAN – Wide Area Network)</i>	19
3.7.3.	<i>Redes Metropolitanas (MAN – Metropolitan Area Network)</i>	19
4.	MEIOS FÍSICOS - TIPOS	19
4.1.	MEIOS DELIMITADOS X NÃO DELIMITADOS	20
4.2.	OS CABOS ELÉTRICOS	20
4.3.	OS CABOS ÓTICOS	20
4.4.	OS CABOS DE FIBRA ÓTICA	21
4.5.	OS MEIOS NÃO DELIMITADOS	21
4.6.	REDES PARA PERIFÉRICOS	21
4.7.	REDES LOCAIS POR FEIXE DE LASER	22
4.8.	REDES LOCAIS WIRELESS	22
4.9.	REDES METROPOLITANAS WIRELESS	22
4.10.	REDES DE LONGA DISTÂNCIA WIRELESS	22
5.	TEMPO DE RESPOSTA & TIPOS DE PROCESSAMENTO	23
5.1.	PROCESSAMENTO EM LOTE (BATCH)	23
5.2.	PROCESSAMENTO ON-LINE	24
5.3.	PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL	24
6.	CLASSIFICAÇÃO DAS TRANSMISSÕES QUANTO AO SENTIDO DO FLUXO	24
6.1.	<i>SIMPLEX</i>	25
6.2.	<i>HALF-DUPLEX</i>	25
6.3.	<i>FULL-DUPLEX</i>	25
7.	CLASSIFICAÇÃO DAS TRANSMISSÕES QUANTO AO FORMATO	25
7.1.	TRANSMISSÃO ASSÍNCRONA:	25
7.2.	TRANSMISSÃO SÍNCRONA:	26
8.	TÉCNICAS DE MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO BANDA BASE	26

8.1.	A SENOIDE COMO PORTADORA	26
8.2.	MODULAÇÃO DE AMPLITUDE	28
8.3.	MODULAÇÃO DE FREQUÊNCIA	28
8.4.	MODULAÇÃO DE FASE	29
8.5.	MODULAÇÕES COMBINADAS	30
8.6.	CODIFICAÇÃO BANDA BASE	30
9.	ANÁLISE DE SINAIS	32
9.1.	TRANSFORMADA DE FOURIER	32
10.	UNIDADES DE MEDIDA (RELAÇÃO DE POTÊNCIAS & POTÊNCIA)	33
10.1.	DECIBEL	33
10.2.	DBM	34
11.	REDES E AMBIENTES DISTRIBUÍDOS	35
11.1.	APLICAÇÕES PARA UMA REDE	36
11.2.	ESTRUTURA DAS REDES	37
11.3.	TIPOS DE SUB-REDE	37
11.3.1.	<i>Ponto a Ponto</i>	37
11.3.2.	<i>Difusão (broadcasting)</i>	38
11.4.	TOPOLOGIAS	38
11.4.1.	<i>Barramento</i>	39
11.4.2.	<i>Anel</i>	39
11.4.3.	<i>Estrela</i>	40
11.4.4.	<i>Malha ou mesh</i>	41
11.5.	ALOCAÇÃO DE CANAL :	41

Capítulo 01 – Introdução aos Sistemas de Comunicação Digitais

1. Fundamentos da Comunicação Digital

Os sistemas digitais de telecomunicações, inicialmente criados para permitir a comunicação de usuários remotos aos computadores de grande porte, normalmente para uso de aplicações corporativas, foram aperfeiçoados para permitir a interligação de computadores de pequeno porte em redes corporativas, e finalmente são hoje a base da Internet, rede mundial de computadores, e continuam evoluindo a cada dia.

Na prática, os sistemas digitais de comunicação formam hoje a base da maior parte dos sistemas de comunicação dos mais diversos tipos (além de tráfego de dados, áudio, vídeo, transações financeiras, sistemas de alarmes e sinalização etc.) Isso ocorre porque, com a migração da maior parte das informações do mundo moderno para o formato digital, os sistemas de comunicação também acabaram migrando para este formato.

Neste capítulo, iniciamos o estudo dos principais conceitos envolvidos em um ambiente de comunicação digital, seus componentes e classificações, protocolos e procedimentos, unidades de medida e estruturas.

1.1. Por que a comunicação é Digital e Binária?

O grande objetivo de um sistema de comunicação é transferir informações. Desde os primórdios da civilização, o homem vem desenvolvendo sistemas cada vez mais sofisticados e eficientes. Partindo dos sinais de fumaça e das mensagens levadas por mensageiros, a tecnologia tem evoluído, buscando representar as informações da forma mais precisa através dos dois principais sentidos humanos (visão e audição).

Como a percepção humana admite um número muito grande de níveis para cada um dos sinais interpretados pela visão e audição, nada mais natural do que buscar sistemas de comunicação baseados em sistemas analógicos. Por que, então, observamos a tendência atual de “digitalizar” a maior parte dos sistemas de comunicação, ou, de forma ainda mais abrangente, as próprias informações?

A explicação está na simplicidade. Informações representadas por sinais com níveis discretos tendem a ser mais facilmente armazenadas, transmitidas e interpretadas, além de serem menos sujeitas a erros de comunicação, que tão facilmente afetam os sistemas de comunicação analógicos.

Confundir, por exemplo, o sinal que representa a cor verde, entre outras centenas de cores possíveis, é bem mais provável do que confundir um sinal

que representa o número binário 0 (zero) com o sinal que representa o número 1 (um). É por este motivo que normalmente não nos limitamos a trabalhar com informações digitais, como também adotamos a base de numeração binária, que possui a menor quantidade possível de variações de estado (0 e 1).

1.2. O papel do *Hardware*: o modelo DTE e DCE

Muito embora a informação não seja algo material, é fundamental representá-la sob a forma de um sinal elétrico, ótico ou eletromagnético para que esta possa ser transportada ou armazenada.

Normalmente armazenada dentro de um dispositivo, ou obtida através da transformação de uma grandeza analógica (voz, imagem ou mesmo a seleção de uma opção representada pelo clicar de um mouse), a informação está no formato digital, e precisa ser previamente codificada em um sinal para que possa ser processada.

Tal necessidade implica no uso de dispositivos de *hardware* especiais, responsáveis pela transformação das informações representadas em formato binário em sinais que possam ser transmitidos pelos meios físicos adequados. O mesmo acontece no sentido oposto na outra extremidade do meio físico, onde o sinal precisará novamente se transformar na informação digital original.

Não podemos também esquecer dos meios físicos que transportam estes sinais, que precisam ser compatíveis com os sinais a serem transportados, e com as condições ambientais dos locais onde estarão instalados.

Sendo assim, conhecer os principais dispositivos e meios físicos utilizados em um ambiente de comunicação de dados é fundamental. Limitar o seu conhecimento aos aspectos de codificação e *software* envolvidos normalmente não é suficiente para resolver todos os problemas.

1.3. O papel do *Software*: Protocolos e Convenções

Muito embora o *hardware* seja fundamental, nenhuma transferência de informação ocorrerá se não houver a obediência a regras pré-definidas entre os agentes participantes da comunicação.

É fácil exemplificar tal necessidade. Para tanto, vamos esquecer temporariamente os sistemas de comunicação mais complexos e focar em um procedimento de comunicação centenário, e ainda executado muitas vezes por dia por boa parte da população mundial: um simples telefonema.

Para fazer um telefonema, somos obrigados a conhecer e utilizar uma série de convenções definidas ao longo dos tempos, e que se tornaram padrões nacionais, ou até mesmo, em alguns casos, internacionais.

Começamos pelo próprio ato de conversar à distância através de um aparelho de telefonia celular. Tente convencer a uma criança de 1 ano que, através daquele aparelho próximo de seu ouvido, ela pode falar e ouvir o seu pai. Você já tentou fazer isto? Demora algum tempo até que a criança consiga entender a lógica deste simples ato.

Saber como utilizar um celular ou aparelho fixo, discar os códigos de operadora e de localidade em uma ligação interurbana ou internacional, ou mesmo que palavra deve-se utilizar quando a outra pessoa atender ao telefone em outro país (mesmo que a língua também seja o português!) são conhecimentos adquiridos ao longo do tempo, que formam uma espécie de “protocolo”, obedecido automaticamente por todos.

Esta analogia entre um simples telefonema e um moderno protocolo de comunicação demonstra o principal conceito descrito na palavra “protocolo”: *Uma série de regras e procedimentos definidos para que uma comunicação possa acontecer de forma eficaz.*

Seguindo o mesmo conceito descrito na analogia, podemos perceber que, quanto mais complexa a comunicação, mais complexo é o protocolo. Telefonar pela primeira vez para alguém em outro país, por exemplo, normalmente é bem mais complexo do que fazer o mesmo para alguém conhecido. A depender da complexidade da comunicação, existem protocolos que sequer podem ser utilizados, por não serem eficientes. Quantas pessoas ainda são obrigadas a viajar milhares de quilômetros para participar de uma reunião, convenção ou congresso, mesmo com os modernos recursos de comunicação existentes hoje em dia?

Em um ambiente de comunicação digital, os protocolos de alto nível definem padrões de dados; padrões de interface de *hardware* do canal definem a codificação e modulação física; entre outras definições e convenções. Uma estrutura em camadas que estudaremos ao final deste capítulo organiza tudo, facilitando o estudo, implementação e suporte de ambientes de comunicação.

2. Os quatro elementos básicos do Canal

Quando começamos a estudar os computadores (na disciplina de Arquitetura de Computadores, por exemplo), um dos primeiros conceitos apresentados é a divisão de um dispositivo computacional em três elementos básicos: CPU, Memória e Periféricos. Embora este conceito normalmente não se reflita na prática, já que os elementos muitas vezes se confundem (como separar os 3 elementos básicos em um celular, por exemplo?), entendê-los simplifica o entendimento da operação de um dispositivo computacional.

Em um ambiente de comunicação digital, costuma-se separar quatro elementos básicos: Emissor, Receptor, Meio Físico e Mensagem.

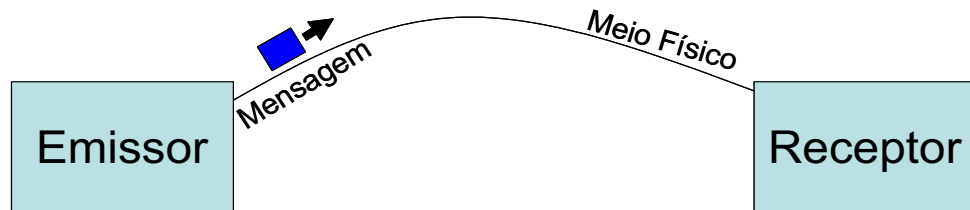


Figura 1 - Os quatro elementos básicos da comunicação de dados. [Autor]

2.1. Emissor

É o componente responsável pela geração e transmissão das informações. As informações podem estar armazenadas no dispositivo ou serem obtidas através da conversão de informações analógicas, sejam estas fornecidas por um usuário, ou obtidas no próprio ambiente, utilizando-se de dispositivos apropriados (microfones, câmeras de vídeo ou sensores).

Tal como vimos, estas informações precisam ser codificadas em um sinal que possa ser transportado pelo meio físico conectado ao emissor. Tal tarefa é realizada pelo DCE (*Data Communication Equipment*).

Para entender melhor o conceito de DCE, vale a pena conhecer as duas partes em que se subdivide o emissor:

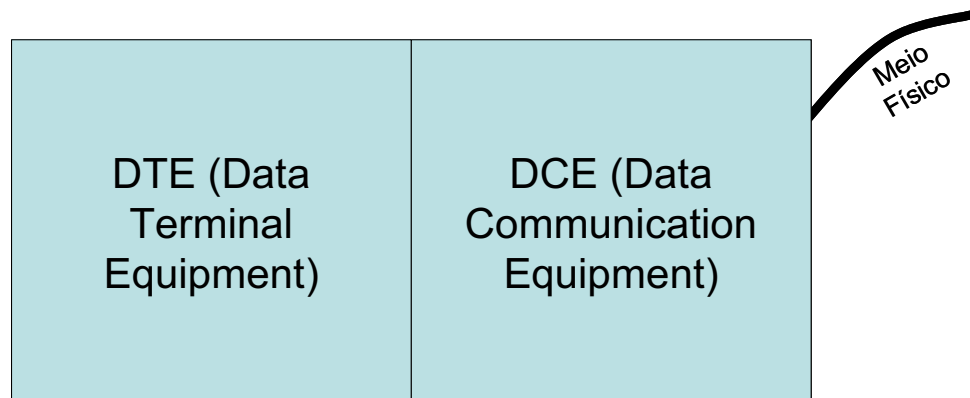


Figura 2 - DTE e DCE [Autor]

A parte responsável pela geração dos dados a serem transmitidos é o DTE (*Data Terminal Equipment*). Como este fica localizado na extremidade do ambiente de comunicação, é o dispositivo “terminal”. Além de gerar as informações, o mesmo normalmente concentra a execução da maior parte dos procedimentos e regras definidas pelos protocolos.

Entre o DTE e o meio físico, temos o DCE, que fará a codificação da informação a ser transmitida no sinal mais adequado para transmissão no meio físico adotado no ambiente. No caso de cabos UTP, por exemplo, o DCE será o responsável pela transformação dos dados binários em sinais elétricos. Já para uma transmissão sem fios (*wireless*), o DCE será o responsável pela geração dos sinais eletromagnéticos a serem injetados na

antena do transmissor, de onde serão transmitidos direta ou indiretamente para o seu destino.

2.2. Receptor

É o componente responsável pela recepção e interpretação das informações digitais transmitidas. Estas podem ser processadas e armazenadas no próprio dispositivo ou mesmo transformadas em informações analógicas para um determinado usuário ou aplicação.

Da mesma forma que no emissor, o receptor também se encontra subdividido em duas partes, o DTE e o DCE. Ambas têm a mesma função que tinham no emissor, só que agora, de forma inversa, com o objetivo de receber as informações.

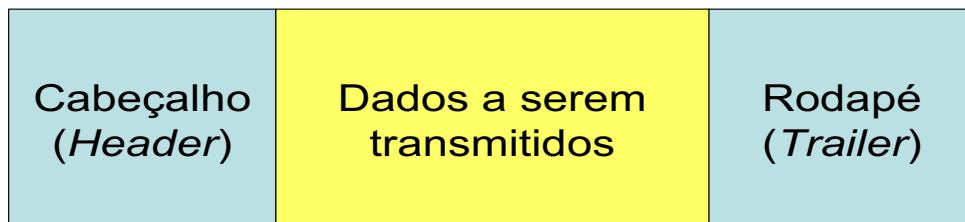
2.3. Meio Físico

O Meio Físico é o material ou substrato responsável pelo suporte ao encaminhamento dos sinais. Estes, por sua vez, encontram-se, tal como já vimos, codificados com a informação a ser transmitida.

O meio físico mais adequado para a transmissão dos sinais é determinado, entre outras coisas, pelas características do ambiente por onde o sinal será encaminhado, pelo custo associado à sua disponibilidade, pela distância entre emissor e receptor, e finalmente, e pela performance necessária.

2.4. Mensagem

O último dos elementos básicos de uma comunicação é a mensagem. Em termos simples, o mais importante a ser discutido neste momento é a composição da mensagem: esta é formada pelos dados a serem transmitidos, além dos protocolos.



Os protocolos normalmente são adicionados à frente e no final da mensagem, como um cabeçalho (*header*) e rodapé (*trailer*). Este processo de acréscimo do protocolo a uma mensagem é chamado de “envelopamento” ou “encapsulamento”. Normalmente ele acontece repetidamente em diversas camadas, na medida em que a mensagem no transmissor vai sendo encaminhada dos protocolos de camada mais alta para os protocolos de camadas mais baixas, aumentando o tamanho da mensagem a ser transmitida, tal como veremos no próximo capítulo. O processo acontece de

forma inversa no receptor, que vai retirando os cabeçalhos e rodapés das mensagens na medida em que ela vai sendo encaminhada para os protocolos das camadas superiores, até que fique apenas a mensagem original.

O conhecimento dos protocolos utilizados para encapsular uma mensagem é fundamental para o receptor, ou a mensagem não poderá ser interpretada corretamente.

3. Propriedades Físicas e Restrições dos Meios Físicos

Falando especificamente do meio físico e dos sinais transportados por ele, é importante analisar a sua performance com base em diversos componentes, como velocidade de propagação, largura de banda, taxa de sinalização e transferência, taxa de erro etc. Para um entendimento adequado, sabendo que se tratam de características interdependentes que afetam a performance, não podemos simplificar a análise considerando apenas a taxa de transferência, o que infelizmente é muito comum.

3.1. Velocidade de Propagação

É medida em metros por segundo (m/s), e representa a velocidade com que o sinal que carrega as informações se propaga pelo meio físico em questão. Embora esta característica não afete a maior das aplicações de comunicação, existem situações em que a velocidade de propagação pode determinar o sucesso ou o fracasso na implementação de um determinado ambiente de comunicação. É o caso das transmissões a longas distâncias, como veremos.

A velocidade de propagação é definida como a razão entre o espaço percorrido por um determinado sinal em um meio físico, e o tempo decorrido para percorrê-lo. Ou seja, a mesma definição formal de velocidade que vimos nos cursos de física.

Em termos práticos, tanto o sinal que passa por um cabo de cobre (Ex. Cabo UTP para redes), quanto a luz que passa por um cabo de fibra ótica, viajam a velocidades bem parecidas, em torno de 2/3 da velocidade da luz. A velocidade só aumenta quando o meio físico é a atmosfera, quando usamos sinais eletromagnéticos ou sinais de luz (Ex. Feixe de Laser). Nestes casos, temos a velocidade da luz (299.792 Km/s)¹, o que representa uma diferença significativa (47% mais rápido).

Na prática, uma vez definido o meio físico, temos uma velocidade de propagação limitada (bastante elevada, mas limitada) e imutável. Logo, o tempo decorrido para a chegada do primeiro bit de uma transmissão (retardo²) é muito curto, e isso faz com que os efeitos da velocidade de propagação sejam simplesmente desprezados na maior parte dos projetos.

¹ Há uma pequena diferença a favor do sinal viajando no vácuo do espaço, mas ela pode ser desprezada (0,03%).

² O retardo (*delay*) é definido como a soma de vários fatores, entre eles o atraso de propagação, que é o tempo que o sinal leva para cruzar a distância física do meio. Nos satélites, especialmente nas órbitas GEO, este fator é significativo. Não confundir com taxa de transferência!

Isso não tira a importância da análise de casos específicos, onde o limite da velocidade de propagação pode inviabilizar algumas aplicações. Quando as distâncias percorridas são muito grandes, mesmo velocidades extraordinárias podem parecer insuficientes. Nestes casos, é importante ajustar as expectativas quanto aos resultados esperados.

Um bom exemplo é a comunicação por satélites geoestacionários. Este tipo de comunicação determina uma limitação das aplicações adequadas, já que o retardo pode ser relativamente elevado.

3.1.1. Estudo de Caso: Comunicação por Satélite

Inicialmente, um satélite precisa estar em órbita, ou seja, independente da tecnologia adotada, é necessário que o satélite seja colocado em uma órbita estável, girando ao redor do planeta sem consumo de combustível, exceto para pequenos ajustes e reposicionamentos.

Quando em órbita, as forças gravitacional (que varia com a altitude da órbita) e centrífuga (que varia com a velocidade da órbita) precisam se anular. Além disto, o planeta Terra está em movimento rotacional em um plano equatorial. Logo, a combinação entre a altitude, velocidade e plano orbital vai determinar a velocidade do satélite em relação ao solo, a área de cobertura e o tempo necessário para uma comunicação entre ele e um ponto na superfície da Terra.

Além disto, é necessário evitar os dois cinturões de Van Allen, regiões com partículas altamente carregadas que são capturadas pelo campo magnético terrestre. Expor um satélite a estas regiões provocaria danos catastróficos aos componentes eletrônicos dos satélites.

Esta combinação de fatores determina 3 tipos de altitude, e 3 tipos de plano orbital.

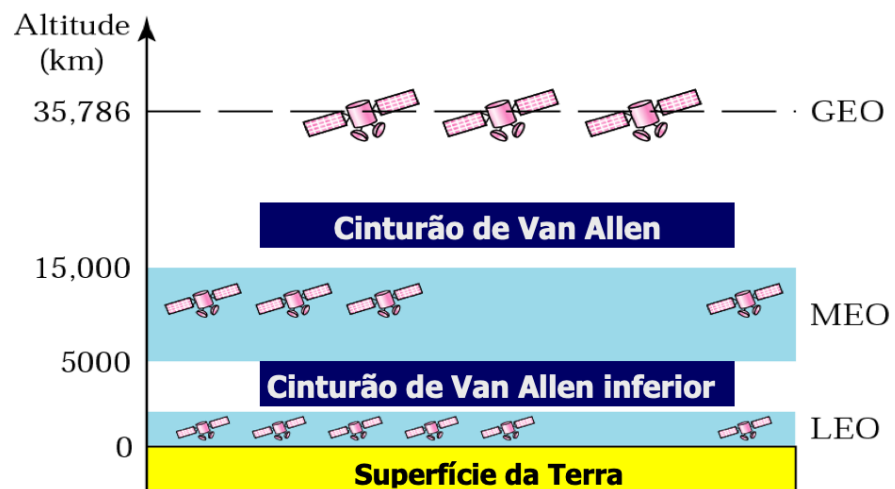


Figura 3 - Altitudes típicas dos satélites artificiais [Prof.Heitor Pita]

As órbitas mais baixas são identificadas pela sigla LEO (*Low Earth Orbit*), e ficam entre 160 e 2.000 Km. Elas têm a vantagem de um retardo baixo (25 a 40ms), porém oferecem área de cobertura menor (~ 1.000Km), exigindo muitos satélites para coberturas maiores. Um excelente exemplo é a famosa constelação *Star Link*,

com mais de 9.000 satélites³ garantindo cobertura global. Na Star Link, os satélites também se comunicam entre eles usando a tecnologia LISL (*Laser InterSatellites Link*) – isso garante cobertura em regiões pouco habitadas, sem *gateways* para conexão com a rede terrestre. Mais recentemente, vem sendo implementada nestas órbitas a tecnologia *Direct-to-Cell*, que permite o acesso direto de celulares aos satélites.

As órbitas intermediárias (MEO), de 2.000 a 15.000 Km, são utilizadas pelos satélites dos sistemas de geolocalização global, como por exemplo o GPS americano, o Galileo europeu e o GLONASS russo. Para cobrir boa parte do planeta, é necessária uma constelação de pelo menos 24 satélites, embora na prática acabem tendo um pouco mais (30/31). Por estarem entre os dois cinturões de Van Allen, normalmente sofrem desgaste prematuro de componentes eletrônicos causados pelas partículas carregadas. Mesmo assim, satélites nesta região resistem por períodos entre 12 e 15 anos.

A órbita mais famosa, no entanto, é a geoestacionária (GEO), na altitude precisa de 35.786Km, onde os satélites viajam na velocidade também precisa de 11.068 Km/h. Esta combinação única de altitude e velocidade orbital garante, em uma órbita equatorial, que o satélite fique “parado” em relação a um ponto na superfície da Terra. Além disto, outra vantagem é a cobertura, que é muito extensa (cerca de 42% da superfície do planeta, ou seja, com apenas 3 satélites é possível cobrir praticamente toda a Terra). Por outro lado, satélites GEO provocam um retardo elevado (550 a 700ms), limitando as aplicações suportadas. Na prática, pouquíssimas aplicações interativas podem ser utilizadas, embora outros tipos de aplicação funcionem perfeitamente.

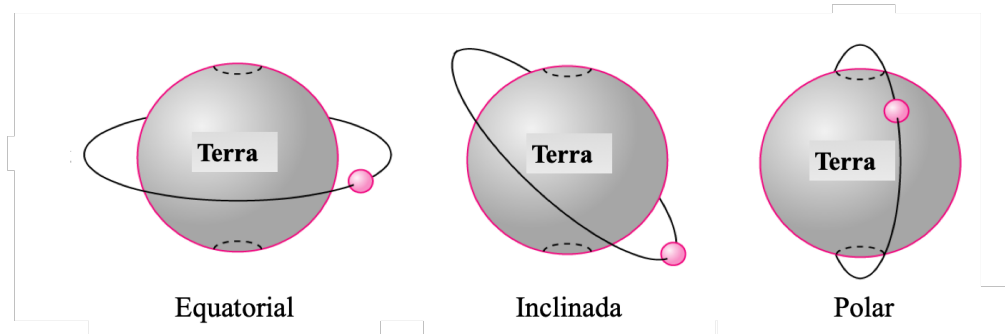


Figura 4 Inclinações orbitais dos satélites artificiais

Um último aspecto importante é o Plano Orbital, ou inclinação da órbita. O tipo mais conhecido é equatorial, ou seja, paralela à linha do equador. Satélites GEO obrigatoriamente precisam estar em órbita equatorial, já que eles precisam girar junto com a Terra, ou não garantem a posição fixa.

Além do equatorial, há os planos polares, que alcançam regiões pouco povoadas, e as órbitas inclinadas, que são especialmente importante por oferecer cobertura em regiões densamente povoadas (trópicos), e por isto são muito comuns para órbitas LEO e MEO.

3.2. Impedância e Frequência de Core (f_c)

Como vimos, para transportar informação é necessário que ela seja codificada em um sinal, já que a informação não tem forma física, e sem

³ Relatório de Progresso da Star Link, 2025. https://starlink.com/public-files/starlinkProgressReport_2025.pdf

forma física não é possível transportá-la. Já os sinais, sejam puramente elétricos, óticos ou eletromagnéticos, têm existência física, e assim podem ser transportados através de meios físicos adequados.

Um sinal precisa ser variável para que consiga transportar informações - um sinal fixo não pode carregar nenhuma informação. Estas alterações ocorrem em ciclos repetitivos, onde a quantidade de ciclos de alterações por segundo é chamada de frequência, cuja unidade é o Hertz (Hz).

Ao injetarmos um sinal na extremidade do meio físico, temos perdas naturais pela transformação de parte da potência em calor, ondas eletromagnéticas e até mesmo vibração. Além disto, o meio oferecerá outro tipo de oposição ao transporte do sinal até a sua outra extremidade. É a chamada **impedância**, medida em ohms, e que é afetada pela frequência do sinal transportado.

Estes efeitos somados causam a perda de potência do sinal, conhecida como **atenuação**, medida em decibéis (dB).

A frequência de alguns sinais elétricos cresce a partir de zero (sinais contínuos). São os chamados sinais de “Banda Base”. Meios físicos que transportam este tipo de sinal normalmente oferecem uma atenuação estável a partir da frequência zero, mas que vai aumentando à medida em que a frequência do sinal aumenta. Na frequência limite chamada de frequência de corte (f_c), a potência cairá à metade do valor inicial (-3dB)⁴.

Considera-se que os sinais injetados no meio físico não devem ultrapassar esta frequência para que as perdas não afetem a sua inteligibilidade no receptor conectado na outra extremidade.

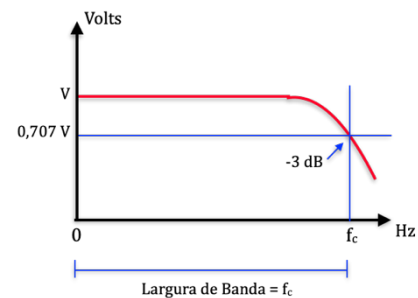


Figura 5 - Largura de Banda em Banda Base

3.3. Atenuação e Resposta em Frequência (Banda Base X Passante)

A faixa de frequências que vai de zero até f_c é chamada de “Banda Passante”. Em sistemas Banda Base, ela corresponde ao conceito de Largura de Banda.

Para sinais de rádio ou luminosos, não é possível começar a partir da frequência zero. Estes sinais têm características rigidamente associadas à uma determinada faixa de frequências. Eles literalmente se transformam em outra coisa à medida em que sua frequência é alterada. A luz visível, por exemplo, se transforma progressivamente em

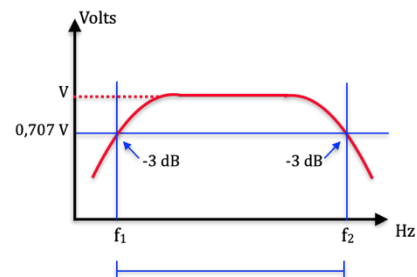


Figura 6 - Largura de Banda em Banda Passante

⁴ Os gráficos representam a perda de potência do sinal, mas têm escala vertical em Volts. Isso deve-se à maior facilidade de medição da tensão de um sinal, ao invés de sua potência. Como a potência é dada pela relação entre o quadrado da tensão e a resistência ($P = V^2 / R$), por isso o valor de tensão correspondente à perda de metade da potência (-3dB) é 0,707, já que $0,707^2$ é igual a 0,5).

infravermelho, micro-ondas, ondas curtas etc à medida em que a sua frequência cai. Sendo assim, estes tipos de sinal são utilizados em faixas de frequência específicas para transporte nos meios físicos. Existem, portanto, frequências limite mínima (f_1) e máxima (f_2), e agora é o intervalo entre elas que é a "Banda Passante". Fora da banda passante ocorre perda de potência superior a -3dB, tal como ocorria em sistemas Banda Base após a frequência de corte.

Na prática, meios físicos que oferecem largura de banda maior são naturalmente capazes de transportar sinais que contêm mais informação. Por isso este parâmetro é importante para garantir maior desempenho e confiabilidade em um sistema de comunicação. São os chamados **Sistemas de Banda Larga**.

Outro ponto fundamental é que todas estas características são determinadas pelas características do meio físico utilizado, e não podem ser melhoradas sem a alteração destas características. Na maior parte dos casos, a solução é a substituição do meio físico. Existem formas, porém, de aumentar a quantidade de informações transportadas sem necessariamente aumentar a Largura de Banda.

3.4. Taxa de Sinalização

O transporte de um sinal só faz sentido se este carregar a informação que precisamos transportar. Isto é feito através de símbolos que são representados por cada estado possível do sinal em determinado instante. A quantidade de símbolos disponíveis determina a nossa capacidade de codificação por estado, tal como ocorre nos sistemas de numeração. O sistema binário, por exemplo, só tem dois símbolos (estados), permitindo transmitir um bit por símbolo.

Nos primórdios da comunicação digital, a transmissão se limitava a essa abordagem binária. Cada estado do sinal representava um bit. Com as limitações de largura de banda da época, a taxa de transmissão em bits por segundo (bps) era numericamente baixa, limitada pela quantidade de transições que o meio físico suportava.

Nos sistemas modernos, técnicas avançadas de modulação permitem representar **múltiplos símbolos**, codificando mais de um bit em um único símbolo. A quantidade de símbolos transmitidos por segundo é definida como **Taxa de Sinalização**, e é medida em bauds.

O termo **Baud** é uma homenagem direta ao engenheiro e inventor francês **Jean-Maurice-Émile Baudot** (1845–1903), um dos grandes pioneiros das telecomunicações automatizadas.

Em 1870, muito antes da existência dos computadores modernos ou do padrão ASCII, Baudot desenvolveu o primeiro código digital de comprimento fixo para sistemas de telegrafia. Seu arranjo utilizava exatamente **5 bits** (impulsos elétricos de presença ou ausência de corrente) para codificar caracteres alfabéticos, eliminando de vez a dependência do ritmo manual do operador exigido pelo código Morse tradicional.



Figura 7 – Jean-Maurice-Émile Baudot

Além do código, Baudot patenteou o primeiro mecanismo prático de **Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM)**, permitindo que múltiplos telegrafistas compartilhassem a mesma linha física simultaneamente através de um distribuidor síncrono giratório.

Os esforços pioneiros de Émile Baudot concentravam-se em otimizar e maximizar a capacidade útil do canal com a ocupação contínua da mesma linha física por múltiplos operadores simultâneos (TDM).

Contudo, essa abordagem de divisão de tempo, por si só, não eliminava a barreira física da Taxa de Sinalização. O aumento da quantidade de símbolos transportada por segundo tornou-se indispensável, gerando o abandono da representação binária pura tradicional e impulsionou o desenvolvimento de modulações multiníveis complexas, projetadas para expandir a quantidade de símbolos distintos utilizados em um mesmo meio físico.

No entanto, existe um limite físico para o aumento dessa taxa. Quando a quantidade de símbolos diferentes é muito grande, a diferença entre eles se torna mínima. Nessas condições, qualquer pequeno ruído ou interferência no sinal faz o receptor se confundir, impedindo que ele identifique, entre as diversas opções, qual é o símbolo recebido. Isso corrompe a informação e eleva drasticamente a BER (*Bit Error Rate*).

Para ilustrar este efeito, veja este gráfico a seguir, chamado de Diagrama em Constelação. Ele ilustra o processo de codificação de dados com base na alteração de duas características fundamentais de um sinal: sua amplitude e fase. Estudaremos estas características com mais detalhes ainda nesta unidade, mas por enquanto vamos apenas analisar um gráfico clássico que representa esta codificação: o Diagrama em Constelação. Neste tipo de gráfico, a amplitude está representada no eixo X, e a fase no eixo Y.

Alterando as duas características de forma independente em diferentes símbolos, podemos ter mais símbolos, e ao mesmo tempo reduzir a dificuldade de identificá-los.

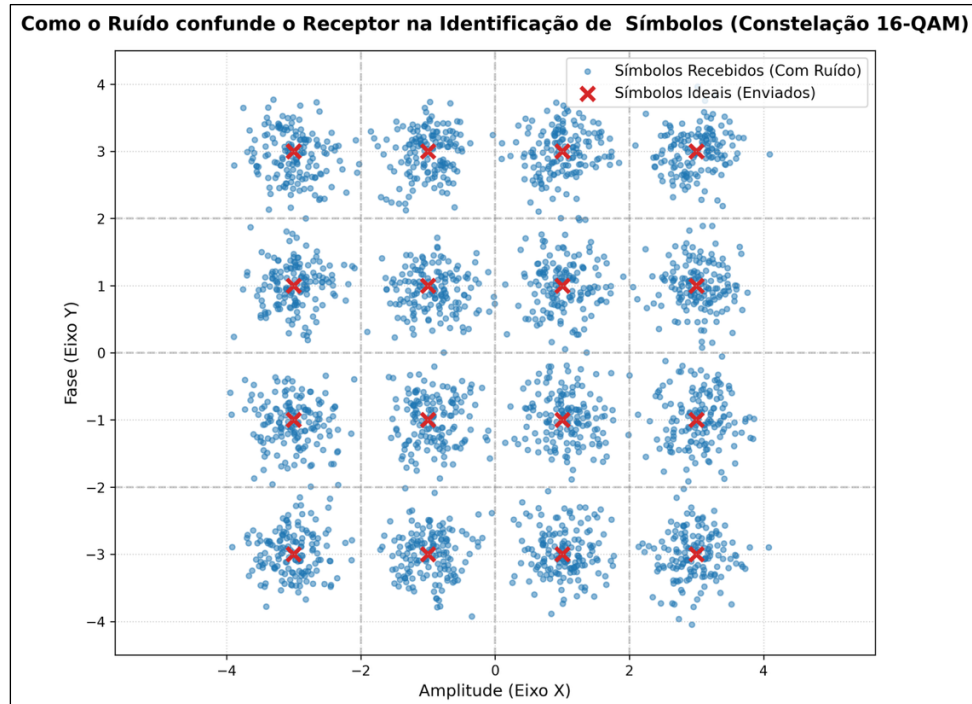


Figura 8 - Diagrama em Constelação 16-QAM

No gráfico, o transmissor definiu 16 diferentes símbolos, cada um com uma combinação diferentes de amplitude e fase. Cada um deles é uma combinação específica de amplitude e fase representada pelos pontos “X” vermelhos. Com isso ele é capaz de codificar 4 bits (tal como o sistema de numeração hexadecimal, que também utiliza 16 símbolos).

Se o receptor for capaz de identificar a amplitude e a fase do sinal que recebe, ele vai conseguir identificar cada símbolo recebido, e recuperará os 4 bits transmitidos. Seria apenas isso se não houvesse nenhum ruído ou interferência. No entanto, como o sinal pode sofrer pequenas alterações durante o percurso, é interessante manter alguma margem de interpretação.

O receptor, na prática, pode identificar valores de amplitude e fase ligeiramente diferentes. São os pontos azuis no diagrama. As linhas tracejadas representam as fronteiras de decisão do receptor. Qualquer ruído ou interferência que altere a posição do ponto, mas mantenha-o dentro do quadriculado ao redor daquele ponto vermelho específico será corretamente interpretado sem problemas. Contudo, se a alteração levar o ponto ao quadrante de outro ponto, haverá falha na recepção.

É claro que, se a quantidade de diferentes símbolos aumentar significativamente, qualquer pequeno ruído ou interferência vai provocar falha na recepção. Sendo assim, o aumento na quantidade de símbolos determina o aumento da BER, que acaba limitando a taxa de sinalização máxima.

3.4.1. Acoplamento de alta performance: Perdas de Inserção e Retorno

Como vimos, para transferir grandes quantidades de informações codificadas no meio físico é necessário utilizar sinais de alta frequência. Estes sinais, além de sofrerem maiores perdas naturais ao trafegarem pelo meio físico, sofrem alterações ainda mais significativas nos pontos de conexão, emendas ou quando ocorrem mudanças nas características físicas do meio.

Na prática, nesses pontos específicos ocorre a perda de parte da potência do sinal, que segue atenuado, e esta potência perdida é transformada em efeitos indesejados.

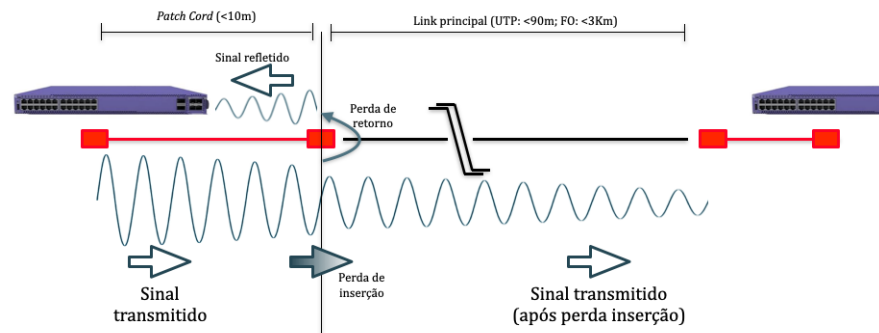


Figura 9 - Efeitos de perdas na transmissão de sinais de comunicação [Autor]

Na Figura 9, vemos que o sinal naturalmente perde potência à medida que se afasta do transmissor, já que o meio físico não é perfeito. No entanto, quando o sinal encontra uma emenda (no caso da figura, um acoplamento através do conector de um *patch cord*⁵), uma fração do sinal continua o seu trajeto após perder parte de sua potência original. Essa redução é chamada de **Perda de Inserção** (*Insertion Loss*).

Pela Lei da Conservação da Energia, a parcela do sinal que não seguiu adiante para o receptor não desaparece: ela é convertida em um sinal refletido que retorna em direção ao transmissor – fenômeno chamado de **Perda de Retorno** (*Return Loss*), e uma pequena fração é dissipada sobre a forma de calor ou vibração.

O sinal refletido atua como uma interferência, degradando a qualidade do sinal que está sendo transmitido. Essa distorção eleva a ocorrência de erros na decodificação e acaba implicando em falhas de comunicação (a chamada “perda de pacotes”).

Como a utilização de conexões é indispensável nas redes estruturadas, a única estratégia que resta é mitigar a intensidade dessas perdas. Para reduzir o impacto destas reflexões sobre o transmissor, uma técnica comum é garantir que o cabo de manobra não seja excessivamente curto. Normas e boas práticas de engenharia para *patch cords* (cabos de manobra) metálicos frequentemente recomendam comprimentos mínimos a partir de 1,22m (4 pés). Essa distância linear ajuda a atenuar a potência do sinal refletido (*Return Loss*) antes que ele alcance e prejudique o circuito de transmissão.

É bom lembrar que esta estratégia não afeta a Perda de Inserção, que só pode ser reduzida através do uso de conectores de alta qualidade e manutenção do número de conexões restrita à quantidade essencial para a aplicação.

⁵ Um *patch cord* é um cabo curto, terminado com conectores específicos em ambas as extremidades, utilizado para interligar equipamentos ativos e passivos em uma rede de comunicação de dados. Normalmente são cabos flexíveis, projetados para suportar a manipulação sem perda significativa de suas características físicas originais.

3.5. Taxa de Transferência

Ruídos e interferências externas, e até mesmo as características físicas do meio e as imperfeições em suas conexões degradam a potência do sinal e introduzem distorções. Diante desse cenário real e hostil, surge a pergunta fundamental: qual é a performance real com que conseguiremos transportar a informação?

Medida em bps (bits por segundo), a taxa de transferência é a propriedade do meio físico mais perceptível e importante para os usuários. Vimos que ela não depende exclusivamente do meio físico; a taxa de sinalização tem participação fundamental, pois determina quantos bits serão codificados em cada símbolo transportado pelo sinal.

Em um cenário ideal (sem ruídos ou interferências), a Largura de Banda e a Taxa de Transferência estão inter-relacionadas através da Taxa de Sinalização, uma restrição física traduzida pelo Teorema de Nyquist:

$$\text{Taxa} = 2 \cdot B \cdot \log_2 n$$

Onde:

Taxa é a Taxa de Transferência Máxima (em bps)

B é a Largura de Banda do meio físico (em Hz)

n é a quantidade de símbolos diferentes

Na fórmula, a eficiência da tecnologia é representada pelo coeficiente $\log_2 n$, que indica o número de bits por símbolo. Note a existência de uma dura barreira matemática: é necessário um **crescimento exponencial** no número de símbolos (n) para obter um **crescimento apenas linear** na taxa de transferência em bits por segundo. Por exemplo, para duplicar o número de bits por símbolo, precisamos quadruplicar a quantidade de símbolos que o receptor deve distinguir.

3.6. O limite Teórico: Teorema de Shannon

A fórmula da Capacidade de Nyquist assume um cenário utópico: um canal de comunicação completamente perfeito e livre de interferências. Naquele modelo, bastaria aumentar indefinidamente a quantidade de símbolos (n) para obter taxas de transferência cada vez maiores.

No entanto, a física do mundo real impõe um limite severo a essa estratégia. Como vimos no item 3.4.1, fenômenos como a perda de retorno (reflexão nas conexões) e as perdas de inserção degradam a potência do sinal e criam distorções. Quando somamos isso ao ruído térmico e a interferências externas (como motores elétricos ou outras redes sem fio próximas), chegamos à situação observada no diagrama de constelação: as "nuvens" de incerteza ao redor dos símbolos. Se tentarmos aumentar o número deles em um ambiente ruidoso, o receptor acabará não conseguindo distingui-los.

Quem decifrou o limite máximo absoluto de transmissão para canais reais e ruidosos foi o matemático Claude Shannon⁶, em 1948, através do teorema que considera não só a Largura de Banda, mas também o ruído. A chamada Capacidade de Shannon é expressa pela fórmula:

$$C = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Onde:

C é a Capacidade máxima do meio físico em bits por segundo (bps).

B é a Largura de Banda do meio físico medida em Hertz (Hz).

S/N é a Relação Sinal-Ruído (*Signal-to-Noise Ratio*)⁷.

Quanto menor for a relação entre o Sinal e o Ruído (sinal fraco ou ruído forte), menor será capacidade de transmissão de informações.

Diferente da fórmula de Nyquist, a equação de Shannon não depende da tecnologia de sinalização; ela determina um limite estabelecido pelas leis da física. Não importa quão avançado seja o equipamento de rede ou quão complexo seja o algoritmo utilizado, a Taxa de Transferência jamais ultrapassará o valor de C para aquela largura de banda e aquele nível de ruído. Caso este teto seja atingido e a performance ainda seja insuficiente, a única alternativa técnica viável será a substituição do meio físico por outro com maior largura de banda ou menor sensibilidade a ruídos, como a troca de cabos metálicos por fibra ótica.

3.7. Meios Físicos – classificação quanto ao alcance

Além das características citadas acima, a distância é um aspecto extremamente importante na análise do meio físico utilizado em um ambiente de comunicação. Com base neste aspecto, as redes de comunicação costumam ser classificadas em função de seu alcance:

3.7.1. Redes Locais (LAN – *Local Area Network*)

São definidas como redes de comunicação de alcance limitado, normalmente utilizando meios físicos de propriedade privada da organização atendida pela rede.

Como os meios físicos são de uso dedicado, normalmente estes são dimensionados para oferecer a melhor performance possível dentro das limitações de distância da organização. Por isto as LANs normalmente oferecem taxas de sinalização e velocidades de propagação bastante elevadas. Como é bem mais fácil evitar fontes

⁶ **Claude Elwood Shannon (1916–2001)** é considerado o "Pai da Teoria da Informação". Durante a Segunda Guerra Mundial, ele trabalhou secretamente no *Bell Labs* desenvolvendo sistemas de criptografia e comunicações seguras para as forças armadas aliadas (tendo inclusive colaborado diretamente com Alan Turing). Este esforço de guerra focado em decifrar mensagens secretas e lidar com interceptações e interferências deu a Shannon a base matemática para publicar, em 1948, seu artigo revolucionário "*A Mathematical Theory of Communication*".

⁷ Embora nesta fórmula a Relação Sinal-Ruído seja expressa pela comparação linear entre sinal e ruído, ela é tipicamente representada em quase todas as situações em uma escala logarítmica, em decibéis (dB).

de interferência e ruído dentro de distâncias limitadas, as taxas de erro típicas (BER) são reduzidas. Conseqüentemente, as taxas de transferência típicas são elevadas, atendendo a um conjunto bastante grande de aplicações.

3.7.2. Redes de Área Estendida (WAN – *Wide Area Network*)

Ao contrário das LANs, as WANs não possuem limites de distância. Normalmente são atendidas por meios físicos ofertados por concessionárias de serviços de telecomunicações, e por isto têm a capacidade total de seus meios físicos rateados entre os diversos usuários.

As WANs normalmente possuem performance limitada, e taxas de erro elevadas. Isto limita as aplicações que podem ser utilizadas em ambientes baseados neste tipo de infra-estrutura de telecomunicação.

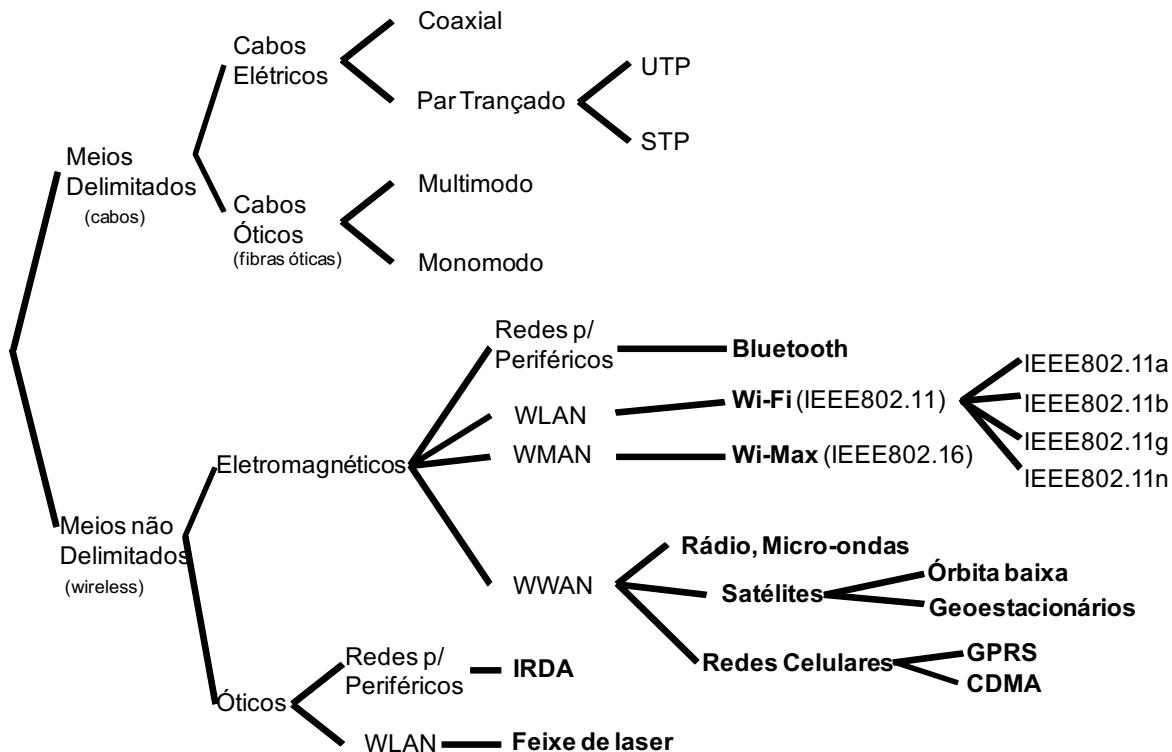
3.7.3. Redes Metropolitanas (MAN – *Metropolitan Area Network*)

Embora alguns autores definam inúmeras classificações para as redes de comunicação em função de seus alcances, definimos aqui apenas três classificações, que incorporam a esmagadora maioria dos ambientes de comunicação digital existentes atualmente.

O terceiro tipo é a MAN, que possui um misto de características entre as LANs e as WANs. Normalmente espalhadas dentro dos limites de uma cidade (raio típico de até 70km), as MANs oferecem performance normalmente superior às WANs, e com isto permitem aplicações mais especializadas.

4. Meios Físicos - Tipos

Para facilitar a análise dos diferentes meios físicos disponíveis nas redes de comunicação atuais, você encontrará, na próxima página, uma classificação simplificada de tecnologias para meios físicos de comunicação digital, algumas vezes indicando diretamente o meio físico, e em outras a tecnologia mais empregada em cada caso.



4.1. Meios Delimitados X Não Delimitados

O primeiro nível de classificação separa os meios físicos delimitados dos meios não delimitados. Os meios físicos delimitados, também chamados de meios guiados, são tipicamente representados pelos **cabos**. Analogamente, os meios físicos não delimitados tipicamente são aqueles que não usam cabos, ou mais simplesmente, não possuem fios (*wireless*).

4.2. Os cabos elétricos

Os cabos elétricos apresentados são de dois tipos: o cabo coaxial é construído com um condutor central protegido por uma estrutura em formato cilíndrico ao redor do mesmo. Esta estrutura, formada por fios condutores, quando ligada ao sistema de aterramento, cria um campo elétrico que protege o condutor contra interferências eletromagnéticas. Já os cabos de par trançado são constituídos de pares de fios trançados em torno de seu próprio eixo. Quando estes condutores possuem uma estrutura de proteção similar aos cabos coaxiais, estes são classificados como STP (*Shielded Twisted Pair*). Já os cabos que não possuem esta proteção (muito mais comumente utilizados) são denominados de UTP (*Unshielded Twisted Pair*).

4.3. Os cabos óticos

Tanto para os meios físicos delimitados quanto para os não delimitados, o segundo nível de classificação aqui adotado considera uma separação clara

entre os meios físicos que transportam sinais luminosos e os meios que transportam sinais elétricos, no caso dos cabos, ou eletromagnéticos, no caso dos ambientes *wireless*.

O transporte da informação codificada em sinais de luz normalmente está associado à insensibilidade às interferências de origem elétrica, além da segurança, já que sinais óticos muito dificilmente podem ser detectados (já que tipicamente são invisíveis), e, mesmo que sejam detectados, a simples interrupção do feixe de luz já pode denunciar uma eventual tentativa de interpretação dos dados transportados.

4.4. Os cabos de Fibra Ótica

Os cabos Óticos, ou simplesmente fibras óticas, podem ser construídos de duas formas típicas: as fibras multimodo e as fibras monomodo. Enquanto que as últimas permitem a transmissão de um único feixe de luz, as fibras multimodo trabalham com múltiplos feixes de luz simultâneos. Os nomes derivam desta característica. As fibras multimodo normalmente possuem limitações de distância e taxa de transferência máximas determinadas pela distorção provocada pela diferença de tempo de propagação entre os diversos feixes de luz simultâneos. Já as fibras monomodo não possuem tal tipo de limitação, embora normalmente utilizem emissores de luz de custo bem mais elevado.

4.5. Os meios não delimitados

Na classificação dos meios não delimitados, identificamos tecnologias, e não meios físicos, mesmo porque os mesmos não existem neste caso. As tecnologias foram classificadas em:

- Redes para Periféricos: utilizadas para interligação de periféricos em pequenas distâncias, e tipicamente com taxas de transferência também limitadas.
- WLAN: utilizadas para formar LANs com tecnologia *wireless*.
- WMAN: utilizadas para formar MANs com tecnologia *wireless*.
- WWAN: utilizadas para formar WANs com tecnologia *wireless*.

4.6. Redes para Periféricos

Nas tecnologias para Redes de Periféricos, temos duas representantes típicas. A IRDA (*InfraRed Data Architecture*) atender às aplicações baseadas em sinais luminosos, enquanto que o Bluetooth permite a conexão com base em ondas de rádio. O mercado tem fortalecido muito a tecnologia Bluetooth, que é largamente utilizada hoje em diversas aplicações. Com esta última, elimina-se a necessidade de alinhamento que tanto limita as aplicações da IRDA.

4.7. Redes Locais por Feixe de Laser

Uma outra tecnologia ótica, desta vez para LANs, são as redes baseadas em feixes de laser alinhados entre prédios. Distâncias de até 2 km podem ser suportadas, com toda a segurança e imunidade típicas das aplicações óticas. A figura ao lado mostra um emissor utilizado nesta tecnologia.



4.8. Redes Locais Wireless

As LAN *wireless* baseadas em sistemas de rádio são as chamadas redes Wi-Fi, que utilizam-se das técnicas de espalhamento espectral para garantir taxas de transferência típicas de ambientes de LAN, mesmo considerando todos os problemas que afetam uma comunicação *wireless* (distâncias, interferências, taxa de erros). A tecnologia Wi-Fi, normatizada pelo IEEE sob o código 802.11, possui atualmente diversas sub-padroneizações, sendo que as mais conhecidas são a “b”, a “g” e a “a”, e, mais recentemente, o padrão “n”. As duas primeiras são compatíveis entre si, e trabalham com taxas de transferência nominais entre 11 e 54 Mbps, enquanto que a terceira, apesar de incompatível com as demais, apresenta diversas características técnicas superiores, além da taxa de transferência de 54 Mbps. A incompatibilidade, porém, aliada à demora do lançamento dos primeiros produtos compatíveis com o padrão IEEE802.11a, acabou por reduzir, e muito, o mercado desta tecnologia. O novo padrão “n” parte do princípio da utilização de diversos dispositivos simultaneamente, aumentando a taxa de transferência nominal.

4.9. Redes Metropolitanas Wireless

Uma outra tecnologia *wireless* muito comentada hoje em dia é o Wi-Max. Esta é considerada como uma tecnologia para redes metropolitanas, por suportar comunicações em distâncias mais elevadas, abrangendo áreas que podem chegar a 70km de raio. Trata-se de uma tecnologia muito recente, que vem sendo implementada no mercado agora.

4.10. Redes de Longa Distância Wireless

Para as redes *wireless* de longa distância (WWAN), temos 3 diferentes tecnologias relacionadas: os enlaces de rádio e microondas, os satélites e as redes celulares.

Os enlaces de rádio de micro-ondas são utilizados para interligações, tipicamente ponto-a-ponto, geralmente entre pontos com linha de visada direta, às vezes com torres que permitem aumentar o alcance.

Os satélites são utilizados para interligação entre pontos mais distantes, muitas vezes em locais onde não existe infra-estrutura de telecomunicações, com alcance global, inclusive nos oceanos. Existem basicamente dois tipos de satélites: os geoestacionários, que giram junto com a terra, mantendo sua posição fixa em relação à superfície da terra; e os de órbita baixa, que, como não se mantêm fixos, precisam ser substituídos por outros após alguns minutos. No último caso, são necessários diversos satélites. No entanto, temos um tempo de propagação bem menor, o que viabiliza o uso de aplicações com requisitos de retardo mais críticos.

As redes celulares permitem a conexão à Internet através de celulares convencionais, o que garante mobilidade aos usuários em todos os pontos onde existe suporte à telefonia celular. Existem basicamente dois tipos de rede celular disponíveis hoje no mundo: a CDMA e a GPRS. A rede CDMA oferece tipicamente taxas de transferência mais elevadas, embora a rede GPRS, normalmente associada aos telefones GSM, seja mais facilmente encontrada em todo o mundo.

5. Tempo de Resposta & Tipos de Processamento

Um dos parâmetros mais utilizados para designar a qualidade de um ambiente de telecomunicações é o seu tempo de resposta, que deve ser compatível com a aplicação em uso. Tipicamente são desejáveis valores baixos de tempo de resposta.

O tempo de resposta representa o tempo decorrido entre uma solicitação de processamento e o seu respectivo retorno. Pode ser representado, por exemplo, no caso de um terminal de vídeo, pelo tempo decorrido entre a digitação do último caractere de um comando pelo usuário e a recepção do primeiro caractere de resposta pelo sistema remoto.

A determinação do tempo de resposta compatível com a aplicação pode implicar no sucesso ou no fracasso de um projeto de telecomunicações. É importante também destacar que o tempo de resposta não depende apenas do sistema de telecomunicações, como também de outros elementos, como do processador local e remoto, da arquitetura da aplicação utilizada etc. No entanto, tipicamente o sistema de telecomunicações é geralmente responsabilizado por qualquer problema de performance ou estabilidade.

Para avaliar corretamente o tempo de resposta, um dos passos fundamentais é identificar o tipo de processamento adotado naquela aplicação. É isto que veremos a seguir.

5.1. Processamento em Lote (Batch)

Neste tipo de processamento, cada informação a ser processada é arquivada temporariamente até a formação de um grupo (conhecido como lote ou *batch*), para posterior processamento.

Embora os requisitos de telecomunicações para este tipo de aplicação sejam modestos, o que muitas vezes pode levar um usuário menos especializado a julgar a tecnologia como antiquada, na verdade o processamento em lote é apenas um tipo de processamento largamente utilizado para aplicações específicas (um exemplo é o processamento de multas de um guarda de trânsito ou de jogos lotéricos).

5.2. Processamento On-Line

Indica o encaminhamento imediato das informações para o processamento, sem nenhum agrupamento anterior. Isto exige a conexão contínua entre o emissor e o receptor do sistema de telecomunicações.

Determinadas aplicações só podem operar com base em sistemas on-line. Um bom exemplo é o sistema de reservas aéreas, onde a confirmação de um assento só pode ser feita considerando-se que nenhum outro passageiro tenha reservado o mesmo assento anteriormente.

É importante destacar que a conexão on-line não implica necessariamente em alta performance ou tempos de resposta baixos. Caso isto seja fundamental na aplicação em análise, devemos partir para o próximo tipo de processamento, o Processamento em Tempo Real.

5.3. Processamento em Tempo Real

Antes de tudo, é fundamental que o sistema seja on-line para que o mesmo possa ser considerado de Tempo Real. O conceito de Tempo Real está diretamente associado aos reduzidos tempos de resposta.

Na prática, o tempo de resposta deve ser suficientemente pequeno para garantir a influência no processo subsequente. Sendo assim, a depender da aplicação, podemos ter diferentes tempos de resposta, sem perder a característica de processamento em tempo real.

Um bom exemplo é o processamento de limites de crédito em uma rede de lojas. O valor da compra deve ser debitado do limite de crédito do usuário em tempo suficiente para impedir que o crédito esteja disponível em outra loja do mesmo grupo. Este exemplo pode implicar em tempos de resposta elevados, porém compatíveis com o conceito de tempo real. Já outras aplicações, como os simuladores e jogos de computador, por exemplo, exigem tipicamente tempos de resposta bem mais reduzidos.

6. Classificação das Transmissões quanto ao sentido do fluxo

Em um sistema de telecomunicações, as informações podem fluir em diversos sentidos, a depender da aplicação e da tecnologia empregada. Para caracterizar e identificar os sentidos dos fluxos de informação em um sistema de telecomunicações, utiliza-se as seguintes nomenclaturas:

6.1. *Simplex*

A transmissão ocorre em apenas um sentido. Podemos fazer uma analogia com a transmissão de televisão, o que exemplifica o sentido único do fluxo.

6.2. *Half-Duplex*

A transmissão ocorre em ambos os sentidos, porém não simultaneamente. Quando esta ocorre simultaneamente, é sobre canais diferentes.

6.3. *Full-Duplex*

A transmissão ocorre simultaneamente em ambos os sentidos.

7. **Classificação das transmissões quanto ao formato**

Ao encaminhar as informações, pode-se escolher entre o envio serial ou paralelo dos dados. Em uma transmissão, os dados são codificados em conjuntos de bits, ou palavras (tipicamente iguais a um byte).

Na transmissão paralela, são transmitidos todos os bits de uma palavra ao mesmo tempo, por meios físicos individuais. Apesar de rápida, a transmissão paralela tem problemas, como o custo mais elevado para distâncias mais elevadas, devido à necessidade de meios físicos mais complexos e caros, além da maior sensibilidade a interferências externas, também devido à exposição de um maior número de meios físicos.

Na transmissão serial, os bits são transmitidos de um a um, em série (daí o nome). Apesar de mais lenta, é largamente utilizada devido à sua padronização e baixo custo.

Ainda falando da transmissão serial, esta pode ocorrer de duas formas:

7.1. **Transmissão Assíncrona:**

Caracteriza-se pela necessidade de sincronização ao final da transmissão de cada palavra. Em função disto, são acrescentadas informações no início e final de byte, para identificação e sincronismo.

O termo **assíncrona**, embora possa nos levar a acreditar que se trata de uma transmissão sem sincronismo, na verdade deve ser interpretada como um **sincronismo simplificado**, e não muito preciso. O mesmo termo também é utilizado, em algumas situações, para identificar o fato de o DCE do receptor nunca saber quando será recebido o próximo byte (ou caractere), já que a transmissão pode ser iniciada e interrompida a qualquer momento. Isto advém de a transmissão ocorrer de forma dividida em pequenas unidades.

A transmissão assíncrona é ideal para pequenas taxas de transferência. Seus equipamentos, por possuírem circuitos de sincronismo mais simplificados,

tem custo reduzido, muito embora o avanço tecnológico tenha provocado também a redução significativa nos custos das transmissões síncronas.

7.2. Transmissão Síncrona:

Neste tipo de transmissão, os DCEs do emissor e do receptor se sincronizam para a transmissão de um conjunto de dados, normalmente bem maior do que os caracteres transmitidos na transmissão assíncrona. O processo de estabelecimento do sincronismo (durante o qual não ocorre transmissão de dados) ocorre apenas no início de cada bloco, o que implica em um desperdício da capacidade de transmissão do canal bem menor do que nas transmissões assíncronas. Esta maior eficácia de transmissão exige, tipicamente, a utilização de técnicas mais apuradas para detecção de erros.

Além disto, como a verificação dos erros só pode ser realizada ao final da transmissão de cada bloco, os DCEs do emissor e do receptor devem ser capazes de armazenar o conjunto de bytes a ser transmitido ou recebido em um *buffer*.

Todas estas características tornam os equipamentos mais sofisticados. No entanto, hoje em dia, devido à miniaturização e escala de mercado destes produtos, conseguimos, mesmo diante de tal complexidade, a manutenção de custos acessíveis.

8. Técnicas de Modulação e Codificação Banda Base

Conforme vimos neste capítulo, as informações, para serem transportadas, precisam ser codificadas sob a forma de símbolos em sinais elétricos, óticos ou eletromagnéticos.

Estes símbolos são criados através da modificação das propriedades essenciais do sinal. Isso pode ser feito através da **modulação** ou da **codificação banda base**.

Na modulação, partimos de um sinal puro, ainda sem nenhum símbolo codificado. Esse sinal, uma senoide com propriedades constantes no tempo, é conhecido como **portadora**. Sua frequência é escolhida no espectro de frequências para aproveitar as propriedades de um sinal daquela frequência (melhor propagação eletromagnética, por exemplo). Para transportar informação, esse sinal é **modulado**, ou seja, tem suas propriedades alteradas.

Na codificação banda-base, não temos portadora senoidal. Os símbolos são convertidos diretamente em níveis ou transições de tensão ou luz para transporte pelo meio físico. Como o sinal ocupa frequências partindo de zero hertz, essa codificação leva o nome de Banda Base.

8.1. A Senoide como portadora

A natureza determinou que todas as oscilações naturais são senoidais. Vemos isso nas ondas do mar, no balançar de um pêndulo, ou até mesmo o

comportamento das cordas de um violão, ou na onda gerada por um diapásão. Em todos estes casos, os movimentos podem ser descritos matematicamente de forma perfeita por uma função senoidal com propriedades constantes.

Este conceito também vale para sinais elétricos e eletromagnéticos, tipicamente utilizados para transporte de informações. Logo, partimos de uma senoide pura cuja frequência é escolhida pelo comportamento esperado para o sinal. Uma propagação eletromagnética adequada à aplicação, por exemplo, pode ser o parâmetro para escolha.

Uma senoide pura possui propriedades que a definem de forma inequívoca: amplitude, frequência e fase. Em um sinal “puro”, essas propriedades se mantêm constantes. No domínio da frequência, essa senoide com frequência única é chamada de **fundamental**.

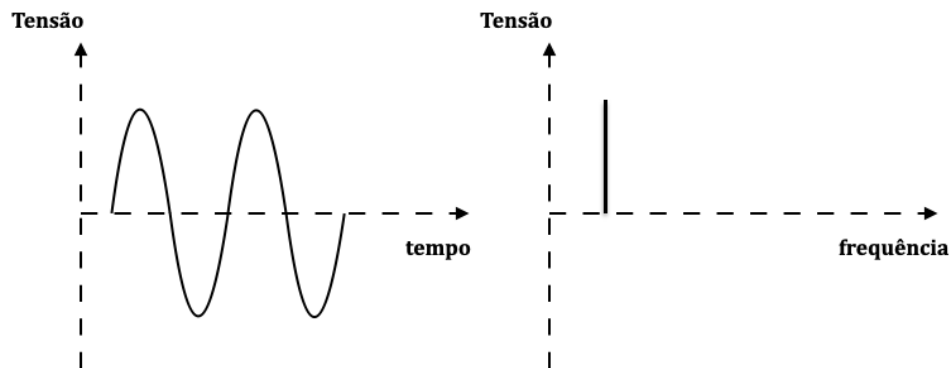


Figura 10 - Uma portadora, ou fundamental, representada nos domínios do tempo e da frequência.

Após modificar uma ou mais propriedades, temos um **sinal modulado**, que embora não seja mais puro, carrega informação. As alterações podem ser identificadas através da inserção de senoides também puras, mas de frequências mais elevadas, chamadas de **harmônicas**. No domínio do tempo, temos um sinal aparentemente distorcido pela soma de diferentes senoides, mas no domínio da frequência a representação é mais adequada.

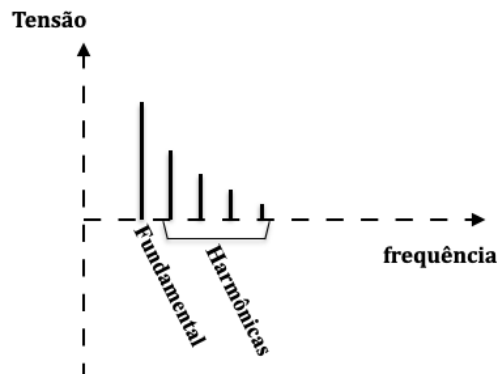


Figura 11 - Sinal modulado no domínio da frequência

8.2. Modulação de Amplitude

A amplitude é a propriedade que representa a magnitude ou a força de um sinal, sendo medida do eixo central zero até o seu valor máximo (pico). Na prática, ela também pode ser expressa pela distância total entre os máximos e mínimos (amplitude pico a pico) ou pelo seu valor eficaz (RMS, ou Média Quadrática).

Uma portadora que teve sua amplitude modificada para carregar informação é chamada de sinal modulado em amplitude (AM – *Amplitude Modulation*). A modulação AM é largamente utilizada nos sistemas de telecomunicações já há muitas décadas.

Embora não seja muito eficiente no consumo de energia e largura de banda, a AM se tornou muito popular devido à extrema simplicidade e baixo custo dos circuitos receptores. Sua principal desvantagem é a sensibilidade a interferências. Isso porque estas se manifestam através da alteração da amplitude do sinal, levando o receptor a confundir a interferência externa com a informação transmitida.

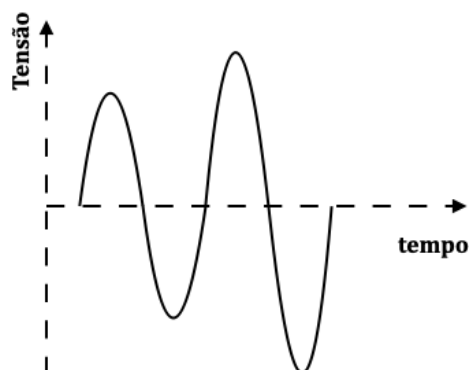


Figura 12 - Modulação de Amplitude (AM)

8.3. Modulação de Frequência

A frequência é uma propriedade fundamental do sinal, representando a taxa de variação dele ao longo do tempo, ou seja, a quantidade de ciclos completos do sinal por segundo. Das 3 propriedades fundamentais, a frequência é a única que pode ser representada de várias formas diferentes.

Em algumas situações, analisamos o tempo de duração de um ciclo do sinal. É o chamado **Período**, que é o inverso da frequência, e este valor pode ser muito importante para análise de alguns comportamentos.

Em outras situações, medimos o espaço percorrido pelo sinal no meio físico durante um ciclo. É o chamado **Comprimento de Onda**, que é inversamente proporcional à frequência.

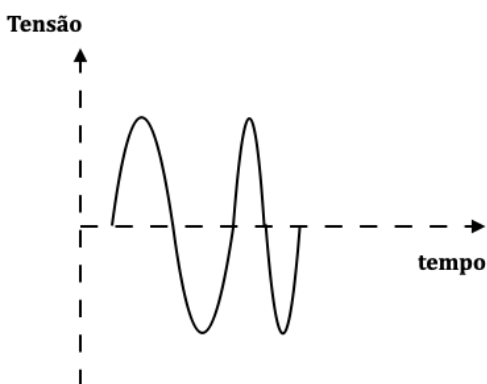


Figura 13 - Modulação de Frequência

Na modulação de frequência (FM – *Frequency Modulation*), alteramos a frequência do sinal para representar os símbolos que queremos transportar. Como neste caso a amplitude do sinal não é sequer analisada pelo receptor, a FM é muito resistente a interferências, o que representa uma vantagem comparativa em relação à modulação AM.

Uma desvantagem da FM é que ela ocupa uma largura de banda muito maior que a AM para transportar a mesma informação, ou seja, ela é muito ineficiente.

8.4. Modulação de Fase

A fase representa o ponto de partida do ciclo, ou o deslocamento angular de uma onda senoidal em relação a um referencial de tempo. Quando uma portadora tem sua fase modificada para transportar informação, temos a chamada PM (*Phase Modulation*).

Este método, tal como o FM, é muito resistente a interferência, mas envolve circuitos bem mais complexos, e por este motivo não é comum em sistemas analógicos, tal como AM e FM. Por outro lado, exige menos largura de banda, e por isso é muito utilizada em sistemas de comunicação digital, especialmente quando combinada com outras técnicas, como é o caso do QAM que veremos a seguir.

Embora seja um deslocamento no tempo, a fase é medida em graus ou radianos. Para entender isto, temos primeiro que levar em consideração que se trata de um sinal cíclico. Ao atrasar ou adiantar o ponto de partida de um ciclo, você está afetando na verdade todos os ciclos posteriores.

Cada possível ponto de partida se repete após um ciclo completo. Podemos então considerar o ciclo completo como uma circunferência. Isso explica a figura a seguir. Mantendo-se a amplitude, cada fase é representada por um ângulo (expresso em radianos). A cada ciclo, tudo se repete.

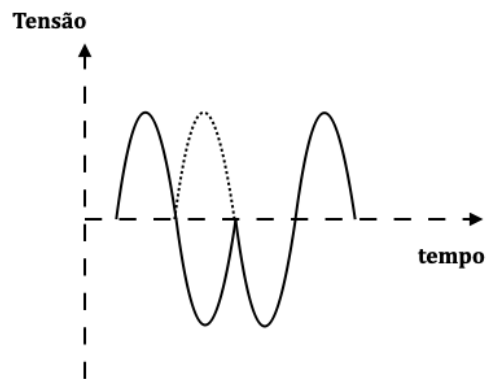


Figura 14 - Modulação de Fase

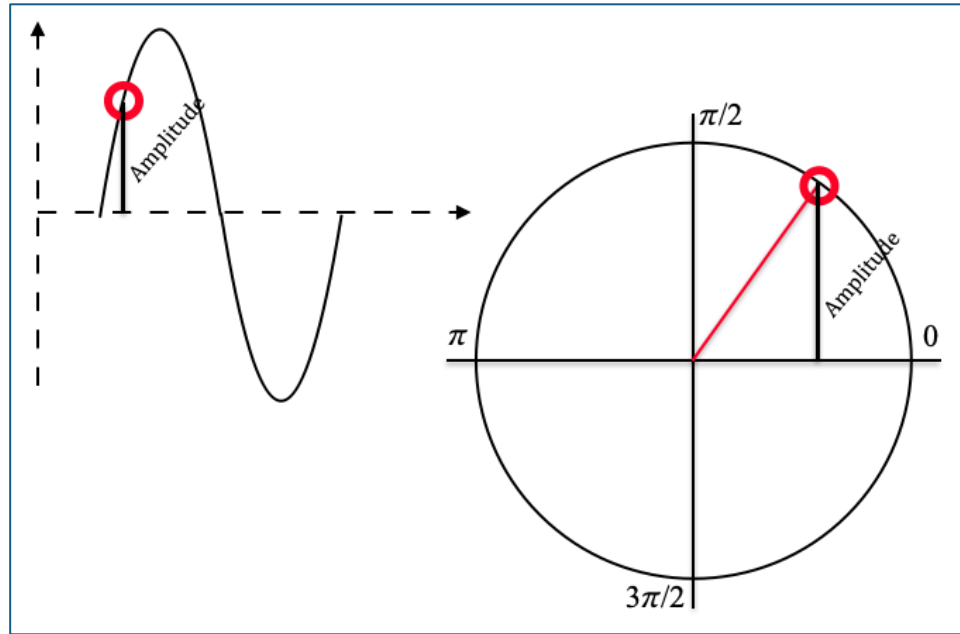


Figura 15 - Modulação PM e o Círculo Trigonométrico

8.5. Modulações Combinadas

A última figura permite imaginar a possibilidade de alteração, não só da fase, mas também da amplitude. Codificando símbolos como combinações de fase e amplitude, temos a modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). A Figura 8 antecipou esta possibilidade. O chamado Diagrama em constelação nada mais é do que a representação gráfica de símbolos codificados por alterações simultâneas de amplitude e fase.

Cada um dos símbolos pode ser representado por uma coordenada polar, ou seja, por um raio e um ângulo. O seno do ângulo multiplicado pelo raio representa a amplitude, e o ângulo representa a fase.

8.6. Codificação Banda Base

Além das técnicas de modulação que acabamos de ver, as informações podem ser transportadas através da representação direta dos símbolos no meio físico, a chamada Codificação Banda Base.

Há diversas técnicas de codificação. A figura a seguir apresenta algumas das mais conhecidas:

NRZ (*Non Return to Zero*): normalmente este é o método que imaginamos quando pensamos pela primeira vez na codificação de dados em um sinal elétrico. O valor lógico 1 é representado por uma tensão específica, e o valor lógico 0 é representado por 0 volts. O nome vem do fato de que, se não houver mudança no valor do bit a ser transmitido, o sinal permanece no mesmo nível, não retornando ao valor zero.

O método era utilizado nas antigas portas seriais dos computadores (padrão RS-232), cabos de console para configuração de equipamentos de rede, e, com pequenas variações, também foi utilizado para redes baseadas em Fibras Óticas. No entanto, este método sofre com problemas de sincronismo, pois uma longa sequência de bits iguais pode confundir o receptor.

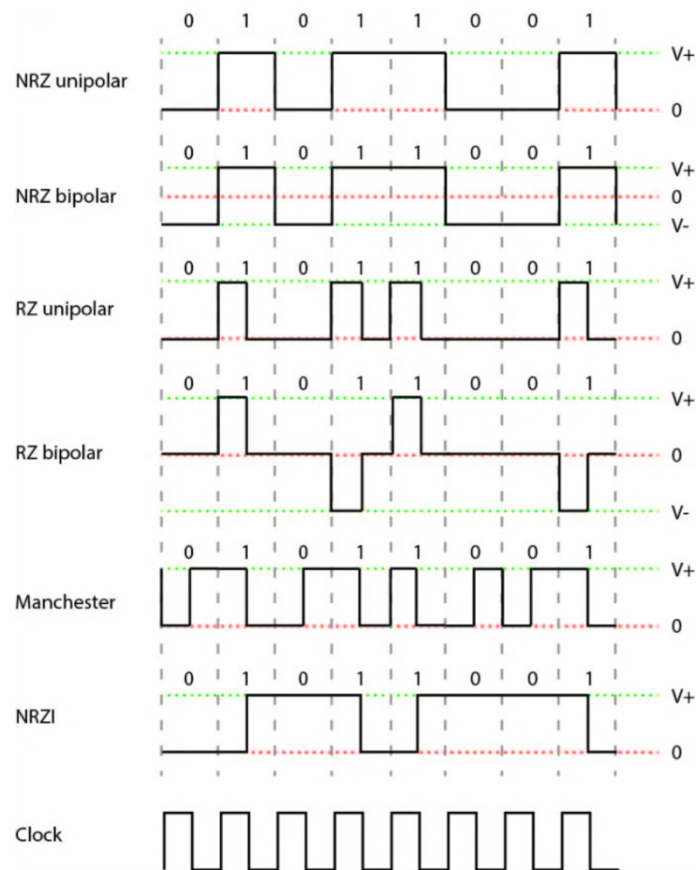


Figura 16 - Codificações Banda Base populares.

Uma variação encontrada em algumas situações

é o NRZ Bipolar, onde valores lógicos 1 e 0 ficam em lados opostos do eixo “X”. Sua vantagem é manter uma tensão média de zero volts (**componente DC Zero**), o que evita problemas elétricos e eletromagnéticos no meio físico e equipamentos conectados.

RZ (Return to Zero): esta codificação utiliza a transição, e não o valor da tensão, para representar o bit que está sendo transmitido. Com isso se facilitou o sincronismo, pois sempre haverá um retorno ao valor zero quando o bit for 1. No entanto, o aumento da largura de banda necessária (o dobro de NRZ) limitou sua aplicação a sistemas a sistemas específicos. Um exemplo são os cabos de fibra ótica submarinos.

RZ Bipolar: este padrão juntou a vantagem da utilização da transição com o componente DC zero. Foi utilizado nos padrões T1 e E1 para interligação de centrais telefônicas, nos primeiros provedores de internet e na interligação de grandes empresas.

Manchester: esta é uma codificação muito popular por ter sido adotada no padrão de redes ethernet sobre cabos de par trançado, uma tecnologia que atendeu a milhões de dispositivos ao redor do mundo. Ela garante um sincronismo bem eficiente pois sempre tem uma transição no meio de cada

ciclo: descida para representar o valor lógico 1, e subida para representar o valor lógico 0.

NRZI (Non Return to Zero Inverted): ele resolveu o problema das longas sequências de bits iguais do NRZ codificando os bits iguais a 1 como transições de subida e descida, e os zeros sem transições. É uma tecnologia muito popular e eficiente, sendo a base das interfaces USB 1.0 e 2.0, e também de enlaces de fibra ótica de baixa performance.

9. Análise de Sinais

A codificação de informações nos sinais provoca alterações que implicam na perda da “pureza” do sinal. Isso aumenta a resistência à passagem dos sinais pelo meio físico, o que leva, no final, à perda de dados.

É importante ter a capacidade de analisar o comportamento do sinal, de forma a podermos estimar qual a distorção esperada, que vai determinar limites de alcance e capacidade de transmissão.

9.1. Transformada de Fourier

Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768~1830) foi um matemático e físico francês com várias contribuições para a matemática, física e engenharia.

Em 1822 ele publicou a “Teoria Analítica do Calor”, onde formulou a lei física da condução térmica, que é base atual da termodinâmica, aplicável em diferentes ambientes, de motores a microchips. Em 1824, ele foi o primeiro teórico a descrever o mecanismo que hoje chamamos de efeito estufa.

Para as telecomunicações e transmissão de dados, no entanto, a maior contribuição de Fourier foi o seu estudo de séries de funções trigonométricas convergentes, que levou à chamada Transformada de Fourier. Ela permite transformar um sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência, já que demonstra que qualquer sinal periódico pode ser decomposto em uma soma de senoide pura.

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} (A(w)\cos(wt) + B(w)\sin(wt))dw$$

Figura 17 - Transformada clássica de Fourier

Esta equação pode ser aplicada em qualquer sinal periódico. Ela foi apresentada mais como uma homenagem ao trabalho de Fourier. Na prática, considerando as simplificações que podem ser aplicadas para um sinal quadrado (como em uma codificação banda base), e também um método numérico, onde não temos uma função contínua, e sim amostragens digitais periódicas, chegamos à versão a seguir, que é bem mais simples.

Nesta versão final, “a” representada a amplitude do sinal e “n” é a sequência de números naturais inteiros e ímpares (para os valores pares de “n”,

$$f(t) = \frac{a}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} * \text{sen}(n * x)$$

Figura 18 - Transformada discreta de Fourier (DFT)

o valor da transformada é zero, logo podemos desconsiderar estes valores).

O primeiro elemento desta série é a fundamental. Os demais elementos são as harmônicas. Um sinal quadrado só poderia ser perfeitamente representado com infinitas harmônicas, ou seja, senoides com frequências cada vez maiores e de menor amplitude. Sinais de frequências muito altas, no entanto, não podem ser transportados devido às limitações da largura de banda do canal.

Sendo assim, na prática, mesmo sem as interferências já apresentadas, um sinal quadrado sempre sofrerá distorção para chegar ao receptor, o que ajuda a determinar um limite máximo de capacidade do canal.

10. Unidades de Medida (Relação de Potências & Potência)

Nos sistemas digitais de telecomunicações, são transmitidos sinais, geralmente elétricos, eletromagnéticos ou luminosos, que devem trafegar entre dois pontos, através de um meio físico qualquer. O próprio tráfego destes sinais pelos meios físicos acaba provocando alterações na potência dos mesmos. Analogamente, os equipamentos de comunicação também podem realizar o tratamento destes sinais, realizando alterações em suas características, entre elas sua potência.

A potência de um sinal é uma característica fundamental para a análise de um sistema de telecomunicações, já que o sinal que chega ao receptor deve ter uma potência mínima para que possa ser interpretado. Por isto é importante conhecer as unidades de potência, assim como as unidades de relação de potências. Estas últimas efetivamente medem as alterações ocorridas na potência de um sinal ao atravessar um sub-sistema qualquer, seja um meio físico ou equipamento de comunicação qualquer. Medir a relação de potências, na prática, equivale a medir o ganho ou atenuação que afetaram um sinal.

Considera-se que houve ganho em um sinal quando sua potência de saída é superior à potência de entrada, enquanto considera-se como atenuação quando sua potência de saída é inferior à de entrada. Em função das grandes variações existentes na medição destes tipos de sinais, são utilizadas escalas logarítmicas, que tornam as variações lineares.

10.1. Decibel

O Decibel é a relação logarítmica entre as potências de saída e de entrada. Como estamos dividindo uma potência pela outra, trata-se de uma unidade

adimensional (sem dimensão). No entanto, o valor resultante do logaritmo decimal desta divisão recebeu o nome de BELL (B), em homenagem ao grande inventor Alexander Graham Bell, que iniciou a história da telefonia em 10 de março de 1876.

No entanto, devido aos típicos valores fracionários desta unidade, na prática é mais utilizada a sub-unidade decibel (dB), que igual a valor em Bells multiplicado por 10. Sendo assim, pode-se determinar o ganho ou atenuação de um circuito, considerando-se a fórmula abaixo:

$$\text{Ganho / Atenuação} = 10 \log \frac{\text{PotênciaSaída}}{\text{PotênciaEntrada}}$$

É importante notar que o decibel não representa nenhum valor absoluto, e sim uma relação de potências. Para tanto, é necessário que ambas as potências estejam representadas na mesma unidade de medida. Por isto, é importante tomar cuidado com os sub-múltiplos do Watt, principalmente considerando-se que potências pequenas são extremamente comuns em telecomunicações:

mW	Miliwatts	Milésimo do Watt	10^{-3}W
μW	Microwatts	Milionésimo do Watt	10^{-6}W
nW	Nanowatts	Bilionésimo do Watt	10^{-9}W
pW	Picowatts		10^{-12}W

Para exemplificar o comportamento logarítmico da unidade decibel, vamos verificar como seria representada em decibéis uma relação de potências que na prática dobre o valor da potência de entrada:

$$x = 10 \log \frac{2}{1}$$

$$x = 10 \log 2$$

$$x = 10 \times 0,3010299$$

$$x = 3,010299 \text{ dB}$$

Como podemos ver, dobrar uma potência implica em uma relação de potências de apenas 3dB.

10.2. dBm

Para simplificar os cálculos de relação de potência, usando as propriedades dos logaritmos, é adotado pelos profissionais de telecomunicações uma nova unidade de potência absoluta, o dBm. Os valores de potência em dBm são obtidos através da comparação das potências expressas em Watts com uma potência de referência de 1mW.

$$P[dBm] = 10 \log \frac{P[W]}{1mW}$$

Desta forma, o dBm passa a ser uma unidade de medição de valores de potência absolutos. O resultado é que aplicar ganho ou atenuação em dB a uma potência expressa em dBm é muito simples – basta somar os dois valores no caso de ganhos, ou subtrair em caso de atenuação.

Isto é facilmente explicado pelas propriedades dos logaritmos:

- O logaritmo de um produto é igual à soma dos logaritmos das parcelas:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

- O logaritmo de um quociente é igual à subtração do logaritmo do denominador do logaritmo do numerador:

$$\log(a \div b) = \log a - \log b$$

Muito embora seja extremamente incomum a necessidade de somar duas ou mais potências, é importante lembrar que não é possível realizar operações de soma e subtração diretamente em dBm. Por se tratar de uma unidade de valor relativo, quaisquer operações deste tipo devem ser realizadas sobre as potências efetivas em Watts. Isto implica na conversão prévia dos valores em dBm para Watts antes das operações.

11. Redes e Ambientes Distribuídos

Quando falamos em rede, normalmente estamos considerando um conjunto de dispositivos autônomos e interconectados. Os dispositivos podem ser computadores ou mesmo outros sistemas de telecomunicação especializados. Basta que exista capacidade de processamento embutida. Telefones celulares, por exemplo, podem ser considerados, já que, na prática, falar ao telefone é apenas uma das múltiplas aplicações que um celular possui hoje. A interconexão é a característica que permite que estes dispositivos troquem informações.

Em termos simples, isto significa que não existe um componente responsável pela concentração da capacidade de processamento, tal como era comum nos modelos mestre-escravo anteriores⁸. Uma rede pressupõe que todos os seus elementos são igualmente capazes de processar, enviar e receber informações.

Um outro conceito normalmente associado às redes é o de **ambiente distribuído**. Este é constituído de uma rede onde a existência dos dispositivos autônomos é invisível ao usuário. Isto significa que, apesar das atividades executadas no ambiente estarem sendo realizadas de forma distribuída por diversos componentes da mesma, para o usuário existe apenas um grande ambiente responsável por todas as atividades. É tarefa das diversas camadas de software escolher o processador onde serão

⁸ Antes das redes de computadores, os ambientes de processamento dominantes eram os *main-frames*, estruturas baseadas em um computadores com alta capacidade de processamento interligadas a diversos “terminais de computador”, que funcionavam apenas como interface para entrada e saída de dados dos usuários. Sem o *main-frame*, os terminais de computadores eram incapazes de executar qualquer aplicação. Por isto, tratava-se de um ambiente “mestre-escravo”.

executadas as diversas tarefas, o local e o formato como estes dados serão apresentados etc. Com frequência, uma camada de software sobre o sistema operacional, chamada *middleware*, é responsável pela implementação desse modelo. Um exemplo bem conhecido de sistema distribuído é a *World Wide Web*, na qual tudo tem a aparência de um documento (uma página da Web). Costuma-se inclusive dizer que a transformação de uma rede em um verdadeiro sistema distribuído é tarefa do *software*⁹.

11.1. Aplicações para uma Rede

A interligação de dispositivos em uma rede teve como objetivo inicial o compartilhamento de recursos de *hardware*. Unidades de disco e impressoras podiam, assim, ser utilizados por mais de um usuário do ambiente, permitindo a redução do custo por usuário destes componentes.

Além disto, muitas vezes, alguns recursos, embora úteis para diversos usuários, permaneciam a maior parte do tempo sem uso, como as impressoras, por exemplo. A necessidade que o usuário tinha de se deslocar até onde os recursos estavam tornava os computadores pessoais isolados pouco práticos. Com as redes, acabou a necessidade de que o usuário estivesse próximo, ou diretamente conectado, ao dispositivo que ele queria utilizar.

A interligação entre computadores e outros dispositivos não tardou, no entanto, a permitir outras aplicações. O compartilhamento de arquivos, fundamental para o uso de aplicações corporativas, que eram comuns nos ambientes com *main-frames*, permitiu o uso profissional das redes de computadores. Estas passaram a ser vistas como substitutas eficazes dos sistemas de maior porte, e, com isto, geraram o movimento de “*downsizing*”, que acabou por substituir milhares de computadores de grande porte por redes de computadores.

Inicialmente consideradas muito instáveis, ou contrário dos sistemas baseados em *main-frames*, as redes de computadores de hoje dispõem de componentes extremamente robustos, e muitas vezes ainda implementam redundância, a depender de seu projeto.

Um aspecto também importante foi a redução de custo que adveio do emprego extensivo das redes. Os computadores e dispositivos de pequeno porte, embora muitas vezes tenham performance bem inferior aos computadores de grande porte, têm uma relação preço X desempenho extremamente interessante. Além disto, a depender do projeto do ambiente, muitas vezes temos a vantagem da escalabilidade, que permite um crescimento gradual e a distribuição dos custos ao longo do tempo.

Para finalizar, um das mais poderosas aplicações das redes atuais são na comunicação entre pessoas. Uma rede hoje é uma das ferramentas de

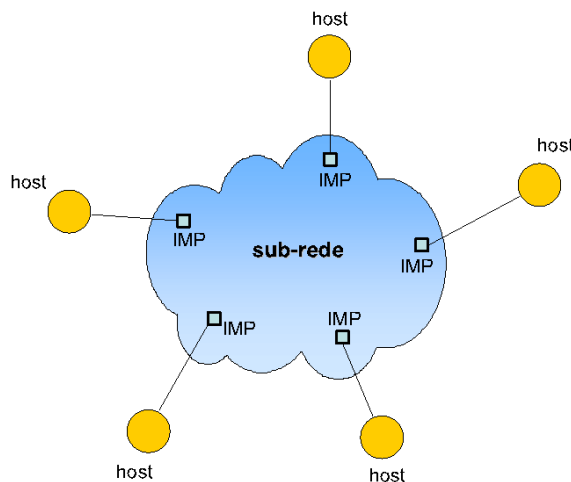
⁹ Um ambiente distribuído é constituído de uma rede, onde a automação da distribuição de tarefas e recursos é obtida devido às características do software. Por este motivo diz-se que é o software que realiza a transformação de uma rede em um sistema distribuído.

comunicação mais poderosas que pode existir, mesmo entre pessoas dispersas geograficamente. Utilizando-se de uma rede de computadores, duas ou mais pessoas que moram em lugares distantes podem não só se comunicar, como produzir de forma cooperativa.

11.2. Estrutura das Redes

Em qualquer rede, tal como vimos, existe um conjunto de dispositivos interconectados. Cada um destes dispositivos normalmente hospeda aplicações para os seus respectivos usuários, e encontra-se interligado aos demais através de uma infra-estrutura específica.

Para cada um dos dispositivos interligados ao ambiente de rede, vamos dar o nome de *host* (hospedeiro). O ambiente de comunicação envolvido na interligação dos *hosts* será chamado de sub-rede de comunicação, ou simplesmente de sub-rede. Esta separação simplifica bastante o estudo e avaliação de ambientes mais complexos. Esta nomenclatura foi adotada desde o surgimento da ARPANET, uma das primeiras grandes redes de computadores.



Complementando a terminologia, para que seja mais simples a análise de sub-redes mais complexas, temos mais dois elementos básicos: os circuitos ou canais de comunicação e os elementos comutadores. Chamaremos estes elementos comutadores de **IMP (*Interface Message Processors*)**. Os *hosts* encontram-se conectados diretamente aos mesmos.

11.3. Tipos de Sub-Rede

11.3.1. Ponto a Ponto

Neste tipo de projeto, existem diversas linhas de comunicação, cada uma interligando um par de IMPs. Se dois IMPs que não compartilham um cabo desejarem se comunicar, terão que fazê-lo através de outros IMPs, ou seja, indiretamente. Desta forma, é necessário que cada IMP seja capaz de receber uma

mensagem (normalmente chamada de pacote no contexto da sub-rede), armazená-la e depois enviá-la para o outro IMP assim que a linha de saída estiver disponível. Estas sub-redes são normalmente chamadas de sub-rede **ponto a ponto**, **store-and-forward** ou mesmo **sub-rede de pacotes comutada (packet switching)**. Este é o tipo de projeto normalmente adotado nas redes de longa distância (WAN).

Na configuração ponto a ponto, existe apenas um emissor e um receptor interligados ao meio de comunicação de dados. Neste tipo de interligação, normalmente é utilizado um método de acesso ao meio define um terminal primário e um secundário. Nestes casos, apenas o terminal primário é quem define o fluxo da informação, para evitar problemas como colisões.

11.3.2. Difusão (*broadcasting*)

Neste tipo de sub-rede, existe apenas um canal de comunicação, que é compartilhado por todas as estações. Desta forma, um pacote enviado por uma estação é recebido por todas as outras. Ao receber um pacote, a estação deve ser capaz de analisar o endereço de destino para verificar se o pacote pertence a ela. O endereçamento é um ponto essencial para um funcionamento de uma sub-rede por difusão.

Mesmo em ambientes mais complexos, com múltiplos meios físicos, pode-se determinar a operação com base no endereçamento. Pode-se garantir o envio de um pacote a todas as destinações através de um código especial no campo endereço (*broadcasting*). Alguns sistemas permitem inclusive que sejam enviados pacotes para conjuntos determinados de estações, em um esquema conhecido como *multicasting*. Tipicamente, todos os endereços com o bit de mais alta ordem igual a 1 são reservados para *multicasting*. Os bits restantes identificam que grupo deseja-se endereçar. Para endereços de *broadcast*, tipicamente se utilizam todos os bits do endereço iguais a 1.

11.4. Topologias

A interligação entre as estações na sub-rede é definida pela **topologia**. A topologia de rede descreve o modo como os dispositivos estão interligados, bem como é feita a troca de informação entre eles. Esta pode garantir não só a performance do ambiente, como também a segurança e os custos envolvidos na implementação do projeto.

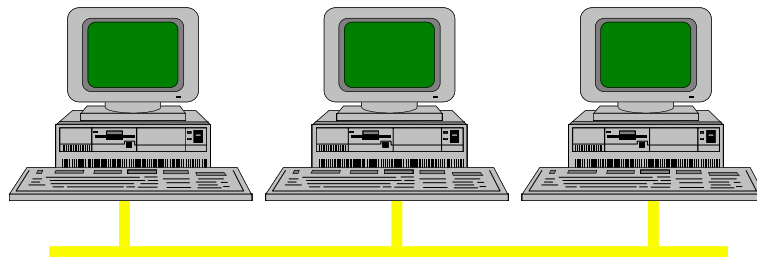
Como existem dois conceitos bastante diferentes diretamente relacionados a esta interligação, é importante diferenciá-los bem: o conceito da **topologia física** e o conceito do **método de acesso ao meio**. Estes são bastante confundidos.

A **topologia física** nada mais é do que a representação física da interligação dos equipamentos. Esta topologia pode ser muitas vezes reconhecida pelo simples exame da disposição dos cabos e equipamentos de comunicação. Já o **método de acesso ao meio** define o protocolo utilizado para acesso ao meio. Desta forma, podemos ter redes com topologia física diversas para o mesmo método de acesso. Um exemplo comum são as redes *Ethernet 10BaseT*, que embora possuam topologia física em estrela, tem método de acesso claramente inspirado nas redes em barramento.

11.4.1. Barramento

O barramento compartilha um único meio físico para todos os *hosts* conectados. Esta característica implica na existência de um protocolo que determina a utilização do meio de transmissão por todos os dispositivos existentes na rede.

Analisando mais detalhadamente, cada estação, ao transmitir, se torna "proprietária" do meio físico único, impedindo que as demais estações o utilizem, a não ser que seja para a escuta dos pacotes enviados. Para que isto funcione, é necessário um mecanismo de arbitragem para resolver eventuais conflitos quando duas ou mais máquinas desejam transmitir simultaneamente. O mecanismo de arbitragem, também conhecido como alocação do canal, pode ser centralizado ou distribuído. Redes em barramento normalmente adotam mecanismos de arbitragem distribuídos.



Como o meio de transmissão é único, é necessária a identificação inequívoca de cada dispositivo. Isto é conseguido através da atribuição de endereços únicos a cada dispositivo. Como todos os dispositivos estão ligados ao mesmo meio, a informação que é transmitida por um deles é detectada por todos os outros, mas só o destinatário é que a retira da rede.

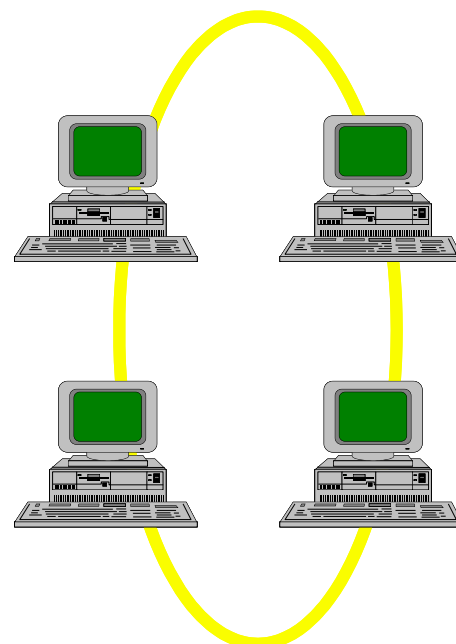
O grande problema desta topologia é dependência em relação ao meio físico, que é único. Ou seja, falhas no meio físico podem provocar a parada total do ambiente.

11.4.2. Anel

A topologia em anel consiste em ligações ponto a ponto entre pares de dispositivos que, no seu conjunto, formam um ciclo fechado.

A informação é transmitida através do anel em unidades de dados que são enviadas rotativamente segundo uma direção predefinida (que pode ser alterada em caso de falhas). Os mesmos contêm a informação sobre a origem da mensagem e o respectivo destinatário. Ao receber a mensagem, o dispositivo receptor analisa a informação do destinatário e passa a mesma ao dispositivo seguinte. Caso o receptor seja o destinatário, ele também recolhe uma cópia da mensagem para interpretação.

A topologia em anel é a mais segura entre as topologias básicas analisadas (barramento, anel e estrela), pois

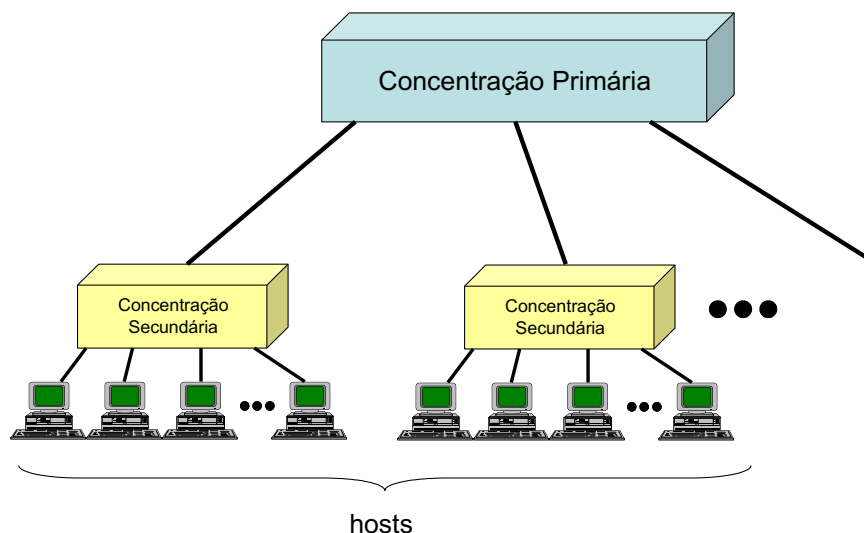
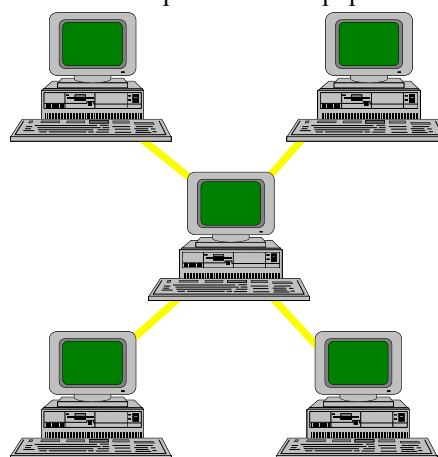


permite a comunicação entre os dispositivos mesmo em caso de falhas no meio físico, já que sempre existe um caminho redundante para a mensagem. Esta característica pode ainda ser reforçada com o uso de anéis duplos, utilizados em tecnologias como o FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*).

11.4.3. Estrela

Utilizada desde os primeiros computadores que permitiram acesso multiusuário, o modelo em estrela considera a interligação de todos os pontos a um equipamento central, que pode ser composto por um dos *hosts* ou por um equipamento especial, conhecido como concentrador (ou HUB¹⁰).

O aumento do número de dispositivos na topologia em estrela é normalmente ilimitado, o que torna fácil a expansão da rede. Em alguns casos, adota-se uma topologia derivada, chamada de topologia em árvore. Nesta, todas ou algumas extremidades da estrela se transformam no centro de novas estrelas secundárias. Neste caso, temos 3 níveis: o ponto central, os pontos secundários, e os *hosts*.



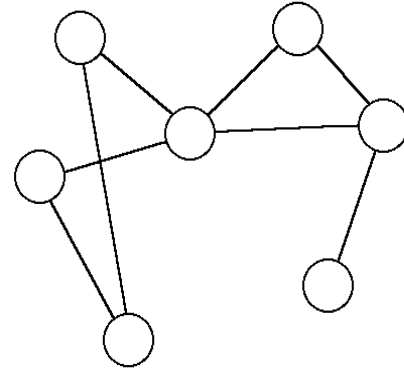
A topologia estrela tem como desvantagem a dependência do ponto central. No entanto, devido às características dos modernos concentradores, normalmente temos altos índices de confiabilidade, e mesmo recursos de redundância que tornam os pontos centrais praticamente infalíveis.

¹⁰ A palavra HUB é tipicamente utilizada como sinônimo de "repetidor ethernet". No entanto, o significado real da palavra está relacionado à capacidade de concentração do dispositivo, que possui diversas portas. A palavra "HUB" está relacionada a esta concentração.

Um outro problema é que a troca de grandes quantidades de informação pode sobrecarregar os dispositivos centrais, congestionando o fluxo de informação, e prejudicando a performance na rede. O uso inadequado de múltiplos níveis também pode introduzir atrasos na propagação das unidades de informação, dificultando o uso de aplicações sensíveis ao retardo.

11.4.4. Malha ou *mesh*

Esta topologia é raramente encontrada em redes locais, sendo mais comum em redes de longa distância (WANs). As conexões são feitas de ponto a ponto, usualmente não interligando todas as *hosts*. Desta forma, as estações intermediárias precisam ser capazes de encaminhar as mensagens para as estações interligadas indiretamente, muitas vezes escolhendo rotas mais adequadas.



11.5. Alocação de canal :

Assim como vimos as topologias físicas comuns, o tipo de alocação do canal de comunicação também é muito importante. Em sistemas determinísticos, normalmente se divide o tempo em intervalos discretos, permitindo que cada estação utilize o meio físico na sua abertura de tempo. Este tipo de alocação é conhecida como **alocação estática**. Apesar de sua simplicidade, ela implica no desperdício da capacidade do canal (que mais tarde vamos identificar como **largura de banda**) quando uma estação não tem nada a transmitir durante o seu período.

Este desperdício implicou na criação da **alocação dinâmica**, comum em sistemas estatísticos. A alocação dinâmica pode ser centralizada ou descentralizada. No método de alocação centralizada, existe uma entidade responsável pela coordenação do meio físico, disponibilizando o mesmo para as estações que desejam transmitir. Para tanto, esta entidade identifica as estações que possuem informações a serem transmitidas e decide quem ficará com o canal, em função de decisões tomadas com base em seu algoritmo interno. Na alocação descentralizada, não há entidade central; cada máquina deve decidir por si só se deve ou não transmitir. Para tanto foram desenvolvidos algoritmos especiais que controlam estas situações.