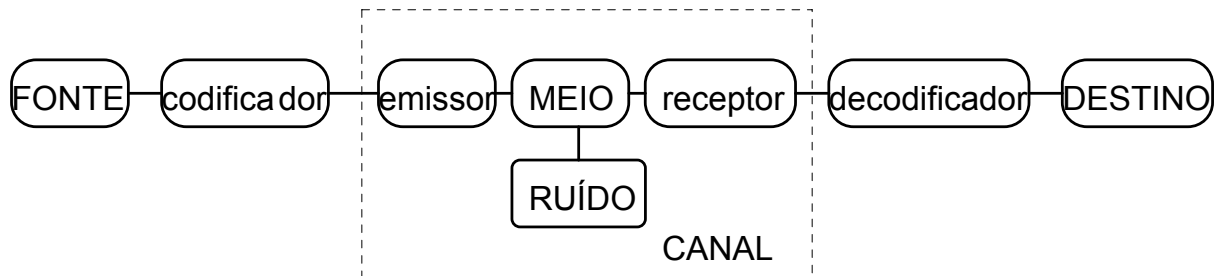


1 MODELO DE SISTEMA GENÉRICO DE COMUNICAÇÕES



1. Fonte: produz a informação na forma de símbolos (ex. 'A', 'B', 'C');
2. Destino: para quem a informação é dirigida;
3. Codificador: transforma a informação para uma forma que possa ser transmitida no canal. (exemplo: caracter '9' para '0011 1001');
4. Decodificador: recupera o símbolo original da informação;
5. Emissor: entrega um sinal de energia adequada ao meio (modulador);
6. Meio: propaga a energia entregue pelo emissor até o receptor;
7. Receptor: retira a energia do meio e recupera o código transmitido (demodulador);
8. Ruído: fator inerente ao meio de comunicação;
9. Canal: transporta os símbolos e a informação associada da fonte ao destino.

1.1 Unidades de medida

Relembrando...

Símbolo	Nome	Exemplo
y	yocto	
z	zepto	
a	atto	
f	femto	
p	Pico = 10^{-12}	pF
n	Nano = 10^{-9}	nF
μ	micro = 10^{-6}	μ s
m	mili = 10^{-3}	ms
1	unidade	
k	kilo = 10^{+3}	km, kg, kbps, kHz
M	Mega = 10^{+6}	MHz, Mbit/s
G	Giga = 10^{+9}	GHz, Gbit/s
T	Tera = 10^{+12}	Tbps
P	Peta	
E	Exa	
Z	Zetta	
Y	Yotta	

Lembre-se que o multiplicador de byte é 1024, e não 1000.

2 MEIOS FÍSICOS DE TRANSMISSÃO

OBS: Apostila desenvolvida em conjunto com Prof. David Birck.

Os meios físicos de transmissão servem para levar a informação da origem ao destino no processo de comunicação de dados, determinando a quantidade de informação que pode ser transmitida em certo intervalo de tempo e também a distância máxima que a informação pode percorrer na rede sem repetidores.

A quantidade de informação está relacionada diretamente com a frequência dos sinais elétricos codificados, e quanto maior a frequência, maior é a atenuação e a distorção dos sinais. A atenuação é uma perda de potência devido à dissipação dos sinais no meio, e a distorção é uma deformação na forma de onda devido à diferença de velocidade com que se propagam as diferentes componentes de frequência do sinal original. Se estes fatores ultrapassarem certos limites, o sinal é irrecoverável no receptor, provocando perda de informação na transmissão.

Existem vários protocolos (regras) para efetuar a comunicação utilizando como suporte os meios físicos, e o objetivo deste capítulo é mostrar as particularidades de cada um dos mais utilizados atualmente.

As principais particularidades abordadas são as seguintes:

- custo;
- banda passante (ou velocidade máxima);
- imunidade a ruído e confiabilidade;
- limitação geográfica devido à atenuação característica do meio.

Estas particularidades são muito importantes para a escolha do meio de transmissão adequado à determinada aplicação, além de influenciar no custo do sistema.

Os meios físicos abordados são os seguintes: meio magnético, par trançado, cabo coaxial, fibra ótica e vácuo (ondas de rádio), pois são os mais comumente encontrados no mercado.

Bibliografia adicional em www.bicsi.org.

2.1 Meio Magnético

Uma das formas mais comuns para transportar dados de um ponto a outro consiste em gravar as informações em um disquete ou fita magnética, colocar a bordo de um carro ou outro meio de transporte, levar para o outro ponto e recuperar lá as informações, sem a necessidade de um canal de transmissão de dados entre os pontos fonte e destino.

Normalmente esta não é a solução mais rápida e eficiente para a transmissão, pois existem muitas aplicações que não suportam este tipo de comunicação (imaginem o sistema bancário baseado neste tipo de comunicação).

2.2 Par de Fios ou UTP – Unshielded Twisted Pair

O par trançado é a mais antiga e também a mais popular forma de meio físico para transmissão de dados. Normalmente os dois fios são trançados para reduzir a interferência

elétrica entre pares próximos (dois fios em paralelo constituem uma antena simples, enquanto que um par trançado não).



Cabo UTP

Os pares de fios trançados foram padronizados pela EIA (*Electronics Industries Association*), a TIA (*Telecommunications Industry Association*), que determinaram uma divisão em graduações.

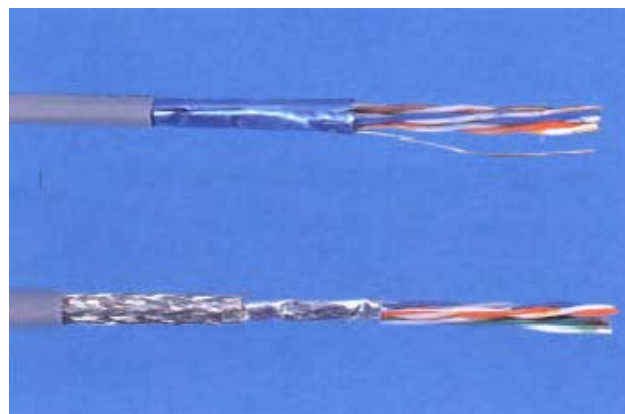
De acordo com esse padrão, quanto mais elevado o número do grau, menor a atenuação do cabo e mais tranças ele tem por metro, melhorando sua característica de interferência entre pares próximos.

Nos cabos categorias 3, 4 e 5, o número mínimo é de 9 tranças por metro, e estas nunca podem repetir o mesmo padrão de trança no cabo (entre pares), reduzindo o fenômeno de linha cruzada.

O par trançado é largamente utilizado devido a certos fatores, entre eles pode-se citar o preço baixo e seu uso disseminado no sistema telefônico.

O principal problema deste tipo de meio físico é sua suscetibilidade a influências externas, como por exemplo, raios, descargas elétricas e campos magnéticos (como o gerado por motores), causando ruídos e perda de informação. Além disso, o par trançado sofre problemas de atenuação (que é maior à medida que aumenta a frequência da transmissão), necessitando de repetidores para distâncias acima de alguns quilômetros.

Os fatores citados acima são diminuídos em pares trançado de mais alta qualidade, que possuem um cabo melhor e um enrolamento mais acentuado, evitando maiores interferências. Um cabo de par trançado não blindado classe 5 possui uma fina camada metálica envolvendo-o, evitando ainda mais a interferência eletromagnética e atingindo maiores velocidades.



Cabo UTP blindado (acima) e UTP com dupla blindagem (abaixo)

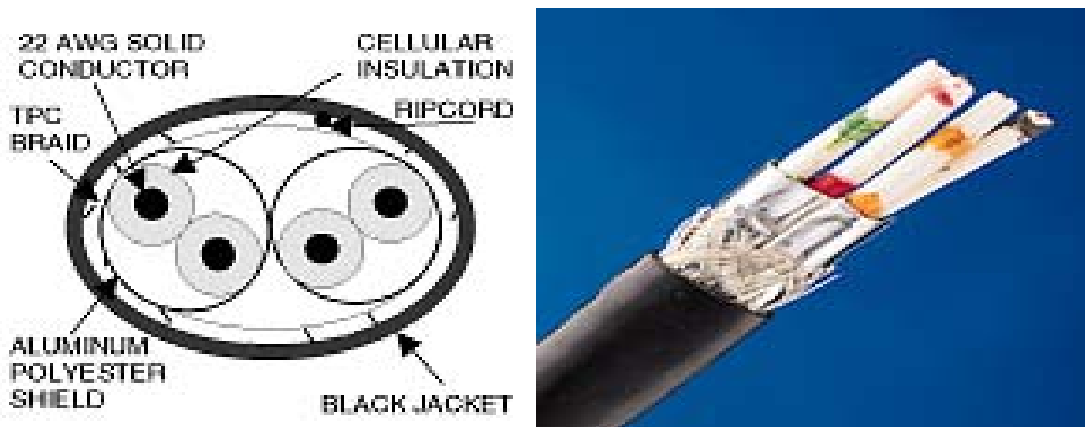
A tabela a seguir mostra algumas velocidades típicas para pares trançados não blindados (UTP – Unshielded Twisted Pair). As taxas de transmissão mencionadas na tabela são para distâncias de no máximo 100 m.

Categoria para cabos UTP da EIA/TIA.

Categoria 1	Não adequado para redes locais – cabo telefônico tradicional, comunicação para voz.
Categoria 2	Certificado para transmissões de dados até 4Mbps. ISDN/RDSI, T1/E1 e LANS.
Categoria 3	Frequência de até 16MHz. Certificado para até 10Mbps.
Categoria 4	Frequência de até 20MHz. Suporta até 16Mbps.
Categoria 5	Frequência de 100 MHz por par. Suporta bem 100Mbps do Ethernet ou 155Mbps do ATM.
Categoria 5e	Igual a categoria 5, foram adicionados os parâmetros PS NEXT, Balanço, PS ELFEXT, Return Loss.
Categoria 6 (Draft)	Frequência até 250 MHz. Suporte a Gigabit Ethernet.
Categoria 7 (Nem Draft)	Frequência até 600 MHz. Necessita de conectores novos.

2.2.1 Cabo STP (Shielded Twisted Pair)

Existem ainda os pares trançados blindados, que possuem uma blindagem envolvendo cada par trançado dentro do cabo. Este tipo de cabo é confeccionado industrialmente com impedância característica de 150 ohms, podendo alcançar frequências de 300 MHz em 100m de cabo.



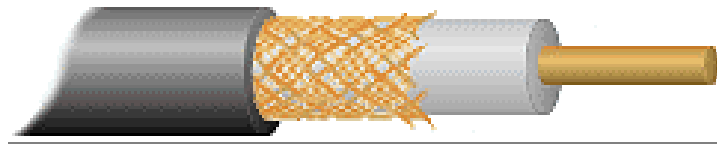
Cabo STP

2.3 Cabo Coaxial

O cabo coaxial é constituído de um condutor interno circundado por uma malha condutora externa, tendo entre ambos um dielétrico que os separa.

O cabo coaxial, ao contrário do par trançado, mantém uma capacitância constante e baixa, teoricamente independente do comprimento do cabo. Esse fator faz com que os cabos coaxiais possam suportar velocidades mais elevadas que o par trançado.

Existem dois tipos de cabo coaxial: o primeiro tipo é de 50 ohms, usado para transmissão digital em banda básica, como, por exemplo, o Ethernet. O outro tipo é de 75 ohms e é utilizado tipicamente para TV a cabo e redes de banda larga.



Cabo Coaxial

A forma de construção do cabo coaxial (com a blindagem externa) proporciona uma alta imunidade a ruído. Sua geometria permite uma banda passante de 60 kHz a 450 MHz. Sua velocidade de transmissão pode chegar a 10 Mbps em distâncias de um quilômetro. Maiores velocidades podem ser obtidas com cabos mais curtos.

Um problema em relação ao cabo coaxial é o que sua topologia inerente é barra, herdando seus problemas. É por este motivo que analistas de mercado dizem que o cabo coaxial está condenado em transmissão digital, pois o par trançado pode fazer tudo o que o cabo coaxial faz e com custo menor.

2.4 Fibra Ótica

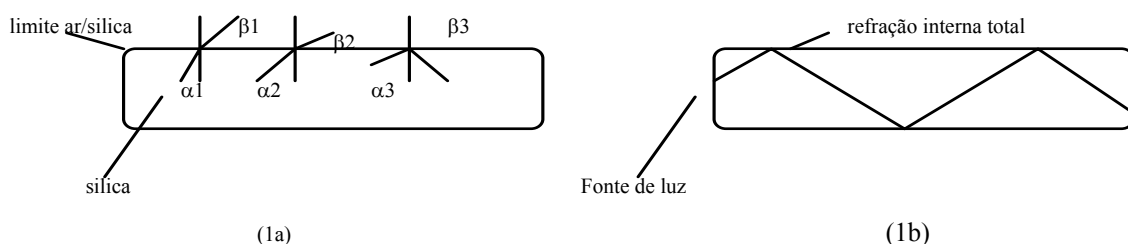
A fibra ótica, apesar de possuir um custo mais elevado que os outros tipos de meios físicos, tem várias vantagens, como, por exemplo, o baixo índice de atenuação do sinal e baixa influência de ruídos externos, provocando uma transmissão mais confiável, e grande velocidade de transmissão de dados.

Um sistema de fibra ótica possui três componentes principais: o meio de transmissão, o transmissor e o receptor.

O meio de transmissão mais utilizado é a sílica. Outros meios podem ser utilizados, como a fibra de vidro e o plástico. O plástico é mais barato, mas possui taxas de atenuação mais elevadas. Ao redor do filamento (núcleo), existem outras substâncias de menor índice de refração, que fazem com que os raios sejam refletidos internamente, minimizando assim as perdas na transmissão.

O transmissor pode ser um **LED (Light Emitting Diode)** ou um **diodo laser**, ambos emitem luz quando recebem um pulso elétrico.

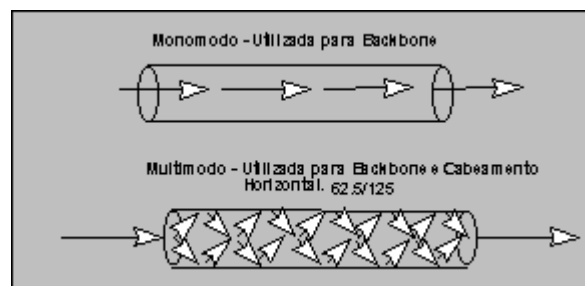
O receptor é um fotodiodo, que gera um pulso elétrico quando uma luz incide sobre ele.



A sistemática de funcionamento de uma transmissão via fibra ótica é simples, sendo baseada em um princípio da física. Quando um raio de luz passa de um meio a outro (por

exemplo, da sílica para o ar), o raio é refratado no limite da sílica e do ar (ver figura 1a). Nesta figura vê-se um raio incidindo com um ângulo α_1 e emergindo com um ângulo β_1 . O índice de refração depende das características do meio. Para ângulos de incidência acima de um certo valor crítico, a luz é refratada de volta para a sílica (ou seja, nada escapa para o ar). Assim, um raio de luz incidente acima do ângulo crítico pode se propagar por muitos quilômetros com uma atenuação muito baixa, como mostra a figura 1b.

A figura 1 mostra apenas um raio. Entretanto, existem situações onde vários raios de luz transmitem a informação, entrando na fibra com diferentes ângulos de luz incidente. Existem três tipos de fibra ótica: as **multimodo (degrau e índice gradual)** com 62,5 μ m e as **monomodo** 8,3 μ m /SOA 95/.



Tipos de Fibra Ótica

Fibras monomodo requerem diodos a laser (mais caros) para enviar a luz ao invés dos LEDs (baratos) utilizados em fibras multimodo, mas são mais eficientes e podem atingir maiores distâncias. A idéia é que o diâmetro do núcleo seja tão pequeno que apenas um raio de luz seja transmitido. A tabela a seguir /TAN 97/ mostra as diferenças na utilização de LEDs ou de diodos laser.

Item	LED	Laser semiconductor
Taxa de dados	Baixa	Alta
Modo	Multimodo	Multimodo ou Monomodo
Distância	Pequena	Longa
Vida útil	Longa	Curta
Sensibilidade à temperatura	Insignificante	Substancial
Custo	Baixo custo	Alto custo

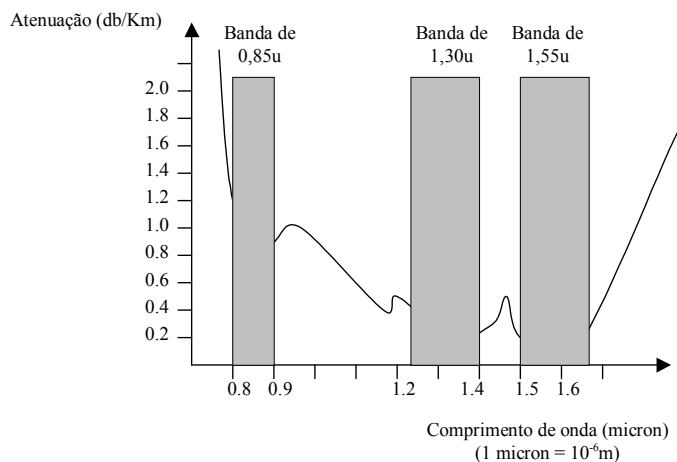
Em termos de largura de banda, com a tecnologia em 1999 já se consegue transmitir 1,6 Tera bps em apenas uma fibra ótica por 400Km, utilizando-se 40 comprimentos de onda diferentes e multiplexando-os numa única fibra com WDM. Como cada comprimento de onda transmite 40Gbps, tem-se o total de 1,6 Tbps <http://www.bell-labs.com/news/1999/june/7/1.html>. Nos 400 Km do teste, utilizou-se um repetidor a cada 100 Km (diodos potentes. Normalmente utiliza-se repetições a cada 30 Km em média /TAN 97/). Em janeiro de 2001, a Lucent vai implantar o sistema, conjuntamente com a Time Warner, só que com 160 comprimentos de onda e 10Gbps em cada um deles (<http://www.lucent.com/press/0101/010117.nsa.html>).

Já em outubro de 1999, a Nortel anunciou que conseguiram colocar 80 comprimentos de onda, cada um com 80 Gbps. Total de 6,4 Tbps em 480 Km. http://www.nortelnetworks.com/corporate/news/newsreleases/1999d/10_12_9999633_80gigabit.html. Em março de 2001 a Nortel estava anunciando comercialmente essa nova linha.

Em 14 nov 99, saiu no BBC news que os laboratórios Bell conseguiram colocar **160Gbps** numa fibra, e num experimento separado colocaram **1022 comprimentos de onda** numa fibra. http://news.bbc.co.uk/hi/english/sci/tech/newsid_517000/517733.stm.

Entretanto, as redes em produção mais rápidas atuais ficam na ordem de 2,4Gbps e 10 Gbps por fibra, formando o *backbone* dos Estados Unidos (www.internet2.edu/topol).

Em termos de faixa de frequência utilizada nas fibras óticas, existem bandas de baixa atenuação. A figura a seguir mostra um exemplo de atenuação utilizando a parte visível do espectro /TAN 97/.



2.5 Transmissão por ondas de rádio

As ondas de rádio estão na faixa das microondas, e para este tipo de frequência existem dois elementos importantes: as torres de retransmissão e comunicação via satélite.

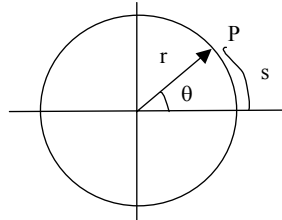
A comunicação via torres de retransmissão necessita visibilidade entre as torres, pois as microondas percorrem uma linha reta, sem acompanhar a curvatura do globo terrestre.

Um satélite de comunicações pode ser imaginado como um grande repetidor de microondas no céu. Existem satélites síncronos (ou geoestacionários) e assíncronos. Os satélites síncronos acompanham a trajetória da terra, ficando sobre a linha do equador a 36.000 Km de altitude. Esta distância de 36.000 Km foi matematicamente calculada para que o satélite necessite de o mínimo de energia para se manter em órbita síncrona em relação à terra, pois neste ponto a força gravitacional da terra (que puxa o satélite para baixo) iguala-se à força inercial (que tende a manter o movimento e fazer o satélite sair pela tangente e ir para o espaço). O cálculo é mostrado a seguir.

Para calcular a distância de um satélite à terra, duas grandezas estão envolvidas: a lei da atração universal e a força centrípeta. A lei da atração universal é definida por GmM / r^2 , e puxa o satélite para a direção do centro da terra, forçando a órbita circular (essa também pode ser dita força centrípeta – definida como mv^2/r). **Do ponto de vista do satélite**, essa força centrípeta deve ser compensada, e para isso “cria-se” a força centrífuga, de mesma intensidade que a força centrípeta, mas direção oposta. Assim, as duas forças podem ser igualadas (maiores detalhes em http://www.if.usp.br/fisico/resp_ordem_numerica.html). O resultado é: $GmM / r^2 = mv^2/r$. Outra forma de pensar, sem criar a força centrífuga, é analisar que o satélite

se move uma certa distância (na tangente), e a atração gravitacional faz com que ele “caia” um pouco, forçando a órbita circular.

Para resolver o problema, é necessário saber a velocidade escalar v do satélite, que pode ser calculada da seguinte forma:



O ângulo θ é medido em radianos, e $\theta = s / r$, onde s é o comprimento do arco e r o raio do círculo. Numa circunferência completa, $s=2\pi r$, e $\theta = 2\pi$, que equivale a 360° .

A velocidade angular ω é a variação do deslocamento do ângulo da partícula P num intervalo de tempo, assim: $\omega = \Delta\theta / \Delta t$.

A velocidade angular da terra durante um dia (86400 segundos) é: $\omega_{\text{terra}} = 2\pi / 86400 \text{ rad/s}$. A velocidade angular num satélite geoestacionário deve ser igual, obrigatoriamente.

A velocidade escalar de um corpo é $v = s / t$. Assim, $t = s / v$. Analogamente, na velocidade angular, $t = \theta / \omega$, ou $t = s / r\omega$. Igualando as duas equações tem-se que $s / r\omega = s / v$, ou $v = r\omega$.

Assim, a fórmula para o cálculo da distância do satélite fica: $GmM / r^2 = mv^2/r$, ou $GmM / r^2 = m(r\omega)^2/r = mr\omega^2$.

Tem-se então que a massa do satélite se elimina, ficando-se com: $GM/\omega^2 = r^3$, ou $GM / (2\pi / 86400)^2 = r^3$.

Sendo que G é a constante de atração universal, $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$, e M é a massa da terra, $M=5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Calculando, tem-se que $r = 42.250 \text{ Km}$ (do centro da terra até o satélite).

Como o raio da terra é de 6.370 Km , tem-se que a distância da terra até o satélite é de 35.880 Km acima da superfície terrestre, no equador, ou, arredondando, 36.000 Km .

Para um satélite obter uma boa transmissão, sem interferência de outro, ele deve estar afastado de 4 graus deste outro satélite. Isto determina o máximo número de satélites geoestacionários que podem ser colocados em órbita. $360 \text{ graus} / 4 = 90$ satélites. Além da competição que isto gera, existem várias classes de usuários (por exemplo, televisão, uso militar, etc). A algum tempo países menos desenvolvidos reservavam pedaços do céu para um uso futuro (quando tivessem tecnologia para utilizar aquele espaço).

As frequências padronizadas para satélites de comunicação são as seguintes: $3,7$ a $4,2 \text{ GHz}$ para retransmissão e $5,925$ a $6,425 \text{ GHz}$ para recepção. Estas frequências são normalmente referidas com $4/6 \text{ GHz}$. Existe uma para recepção e outra para retransmissão para não haver interferência no feixe recebido e retransmitido.

Existem outras frequências padronizadas que permitem a utilização de satélites mais próximos. $12/14 \text{ GHz}$ permite 1 grau entre satélites, mas sofrem problemas de absorção por

partículas de chuva. 20/30 GHz também são utilizadas, mas o equipamento necessário é ainda muito caro. A tabela a seguir mostra as principais bandas padronizadas para satélites /TAN 96/.

Banda	Freqüência	Downlink (GHz)	Uplink (GHz)	características
L	1,5-1,6			Usado em sat. baixa órbita
C	4/6	3,7-4,2	5,925-6,425	Interferência terrestre
Ku	11/14	11,7-12,2	14,0-14,5	Problemas com chuva
Ka	20/30	17,7-21,7	27,5-30,5	Problemas com chuva; custo

Um problema com a transmissão via satélite são os atrasos na conexão fim a fim. Um atraso típico de satélite é de 250 a 300 ms. A título de comparação, *links* terrestres de microondas tem um atraso de propagação de aproximadamente 4 μ s/km e cabo coaxial tem um atraso de aproximadamente 5 μ s/km.

Uma informação interessante sobre satélites é que o custo para transmitir uma mensagem é independente da distância percorrida. Assim, o custo de transmitir uma mensagem através do oceano em um *link* intercontinental é o mesmo que para transmitir a mensagem para o outro lado da rua.

Outra característica é que a transmissão é *broadcast*, ou seja, não possui um destinatário específico. Qualquer antena direcionada adequadamente pode receber a informação. Isto faz com que algumas emissoras enviem mensagens criptografadas (codificadas), para evitar a recepção por pessoas não autorizadas.

3 Referências

- /GAS 97/ GASPARINI, Anteu F., BARRELA, Francisco E. **A Infraestrutura de LANs** – disponibilidade (cabling) e performance (switching e routing). Ed. Érica, São Paulo, 1997.
- /SOA 95/ SOARES, Luiz Fernando Gomes; Lemos, Guido; Colcher, Sérgio. **Redes de Computadores: das LANs MANs e WANs às Redes ATM**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1995.
- /TAN 97/ TANENBAUM, Andrew C. **Redes de Computadores** - 3a edição. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1997.