

Unidade III

3 O RÁDIO DIGITAL, OS SATÉLITES E O VPN

3.1 A tecnologia do rádio digital

3.1.1 Os rádios digitais

As ondas do rádio são de fácil geração, têm a capacidade de percorrer longas distâncias e de penetrar facilmente os edifícios e são amplamente utilizadas para comunicação, seja ela em ambientes fechados ou em ambientes abertos. Podem também ser omnidirecionais, o que significa que elas são propagadas e viajam por todas as direções a partir de sua fonte de emissão. Dessa maneira, transmissor e receptor não precisam estar alinhados fisicamente para a transmissão das informações.

Podemos lembrar que o rádio tradicional possui método de propagação omnidirecional, porém esse método nem sempre é bom em seu propósito de transmitir informações. Uma das histórias da década de 1970 nos conta que a General Motors decidiu equipar seus novos modelos de automóveis Cadillac com freios controlados por computador, técnica que impede o travamento das rodas em caso de emergência. Quando o motorista pisa no pedal do freio, o assistente computadorizado aciona e solta os freios em vez de travá-los de uma vez. Certo dia, um oficial rodoviário das estradas de Ohio começou a usar seu novo rádio móvel para se comunicar com a central de polícia quando, de repente, um Cadillac passou pela rodovia e passou a se comportar como um cavalo selvagem. Depois de ser abordado pelo policial, o motorista do veículo relatou que nada havia feito para que o carro se comportasse daquela forma estranha. Esse relato então chegou à fábrica da General Motors, e então a equipe de engenharia percebeu que havia um padrão: toda vez que os automóveis da marca trafegavam pelas estradas de Ohio, se comportavam de uma maneira estranha. A fábrica de automóveis ainda levou algum tempo para descobrir que a fiação dos freios do novo Cadillac formava uma ótima antena que captava a frequência de rádio utilizada pela Polícia Rodoviária.

Podemos afirmar que as principais propriedades de propagação das ondas de rádio dependem essencialmente das frequências. As frequências das ondas de rádio atravessam os obstáculos, mas a potência cai abruptamente à medida que a distância aumenta. As altas frequências das ondas de rádio tendem a viajar em uma linha reta e ricochetear em obstáculos físicos ao longo do caminho. A chuva também é entendida como um obstáculo importante porque a alta frequência é muito absorvida por suas gotículas.

Observando a capacidade das ondas de rádio que apresentam características de percorrer longas distâncias, a interferência entre os usuários passa a ser um problema. Essa, certamente, é a razão pela qual os governos exercem um controle rígido de licenciamento do uso dos transmissores de estação de rádio. Apenas algumas poucas faixas frequenciais são liberadas para o uso sem a necessidade de licenciamento prévio.

Veja a seguir uma tabela com o espectro de frequências:

Tabela 9 – Espectro e frequências de rádio

Frequência	Denominação	Tamanho da onda	Nome popular
300 a 3000 GHz	THF (<i>tremendous high frequency</i>)	Ondas decilimétricas 1 a 0,1 mm	Ondas ultramétricas
30 a 300 GHz	EHF (<i>extremely high frequency</i>)	Ondas milimétricas 10 a 1 mm	
3 a 30 GHz	SHF (<i>super high frequency</i>)	Ondas centimétricas 10 a 1 cm	
300 a 3000 MHz	UHF (<i>ultra high frequency</i>)	Ondas decimétricas 100 a 10 cm	
30 a 300 MHz	VHF (<i>very high frequency</i>)	Ondas métricas 10 a 1 m	
3 a 30 MHz	HF (<i>high frequency</i>)	Ondas decamétricas 100 a 10 m	Ondas curtas
300 a 3000 KHz	MF (<i>medium frequency</i>)	Ondas hectométricas 1000 a 100 m	Ondas médias
30 a 300 KHz	LF (<i>low frequency</i>)	Ondas quilométricas 10 a 1 km	Ondas longas
3 a 30 KHz	VLF (<i>very low frequency</i>)	Ondas myriamétricas 100 a 10 km	Ondas muito longas
3mHz a 3 KHz	ELF (<i>extra low frequency</i>)		Subáudio

Observamos que nas bandas VLF, LF e MF, as ondas de rádio se propagam perto do solo seguindo a curvatura da Terra. Elas podem alcançar até 1.000 km e no momento em que a frequência aumenta, o raio de ação vai diminuindo.

A radiodifusão AM (amplitude modulada) opera numa banda MF, razão pela qual as rádios AM de uma grande cidade podem ser captadas em locais distantes até 200 ou 300 km do ponto de emissão, desde que não haja outra estação de rádio local transmitindo na mesma frequência. As ondas de rádio dessa frequência atravessam com facilidade as paredes; esse é o motivo pelo qual os rádios portáteis funcionam em ambientes fechados.

Nas bandas HF e VHF, as ondas que se propagam ao longo do solo tendem a ser absorvidas pela Terra. Porém, as ondas que alcançam a ionosfera, uma camada de nossa atmosfera em que as partículas são carregadas eletricamente e que envolvem a Terra a uma altura de 100 até 500 km, são refletidas por ela e enviadas de volta à Terra.

Ao observar específicas condições atmosféricas, os sinais podem ricochetejar diversas vezes e alcançar distâncias muito maiores. Os usuários das frequências que operam radioamador aproveitam a condição desse fenômeno para efetuar comunicações de longa distância.

Acima de 100 MHz, as ondas trafegam praticamente em linha reta e, portanto, podem ser concentradas em uma faixa bem estreita. Essa concentração, envolvendo toda a potência transmitida em um feixe pequeno, oriundo de uma antena parabólica, oferece uma relação sinal/ruído muito mais baixa. Assim, as antenas de transmissão e recepção devem estar alinhadas com o máximo de precisão em visada.

Ainda, essa característica direcional permite o alinhamento de vários transmissores em uma única fila, permitindo que eles se comuniquem com vários receptores igualmente alinhados sem que exista interferência, desde que sejam observadas algumas regras de espaçamento entre eles.

Vale lembrar que antes do advento da fibra ótica, as comunicações terrestres de longa distância eram, em grande maioria, feitas através de enlaces de rádios de micro-ondas.

Lembrando que as micro-ondas viajam em linha reta, ainda que as torres de transmissão estejam muito afastadas, o sinal acabará se perdendo facilmente. Então, as torres repetidoras devem ser posicionadas em intervalos regulares. Quanto mais altas são as torres, maior o intervalo entre elas. O período entre as repetidoras aumenta de acordo com a raiz quadrada da altura da torre. Por exemplo, as torres com 100 m de altura podem transmitir até 80 km de distância (numa condição de terreno plano, sem obstáculos naturais ou artificiais).

Diferentemente das ondas de rádio, que operam nas frequências baixas, as frequências de micro-ondas não têm a capacidade de atravessar com facilidade as paredes de edifícios. Mesmo observando que o feixe frequencial possa estar bem concentrado no transmissor, existe ainda alguma divergência no espaço. Essas ondas podem ser refratadas para as camadas atmosféricas mais baixas e, conseqüentemente, sua chegada pode ser mais demorada que a das ondas diretas (efeito *delay*, atraso). Certamente, essas ondas retardadas (*delay*) podem chegar fora de fase em relação à onda direta e, assim, cancelar o sinal. Esse efeito é chamado esmaecimento de vários caminhos (*multipath fading*) e provoca sérios problemas. Ele depende das condições atmosféricas e da frequência operacional. É comum as operadoras manterem 10% dos seus canais de rádio ociosos como efeito sobressalente, pois esses canais poderão ser utilizados quando o esmaecimento atenuar temporariamente alguma banda de frequência.

A necessidade de mais espectro serve para manter o avanço e o aperfeiçoamento tecnológico e ainda permite que as transmissões usem frequências cada vez mais altas. Bandas até 23 GHz agora são de uso comum e rotineiro. Porém, ao empregar bandas a partir dos 4 GHz, ocorre outro problema: a absorção pela água. Esse tipo de onda possui apenas alguns centímetros e é facilmente absorvido por chuva. Esse efeito não causaria nenhum problema se estivéssemos construindo um enorme forno de micro-ondas para ser usado a céu aberto, mas quando se trata de telecomunicações, isso uma questão grave. Da mesma forma como acontece o esmaecimento de vários caminhos, uma das soluções apresentadas seria a de desligar os enlaces que estão sendo afetados pela chuva e criar uma nova rota como contorno.

Resumindo, a comunicação por frequência de micro-ondas é muito usada na telefonia a longa distância, na telefonia celular para conexão das ERBs (rádios base), na distribuição (não difusão) de sinais de televisão e na solução última milha (*last mile*), para, então, conectar de forma rápida e econômica o cliente a um ponto central do provedor de telecomunicações (chamado de POP).

3.1.2 Tecnologias de rádios digitais

3.1.2.1 Radio *spread spectrum*

Uma das técnicas mais utilizadas no mercado para qualificação das transmissões de rádio digital e sinal base para transporte de dados é o rádio *spread spectrum*. Ela foi originalmente desenvolvida para uso militar durante a Segunda Guerra Mundial e seu objetivo principal era transmitir informações em um sinal cifrado, muito parecido com um ruído de rádio elétrico, para evitar o monitoramento pelas linhas inimigas.

A tecnologia do rádio *spread spectrum*, basicamente, consiste em codificar um sinal de informação que está sendo transmitido, porém, proporcionando o espelhamento no espectro entre dezenas, talvez centenas, de frequências. O resultado do sinal transmitido, então, ocupa uma banda muito maior do que a formação original sugere. Uma de suas características é possuir uma baixa densidade de potência e, ainda, apresentar uma baixa relação sinal/ruído.

Se observarmos esse tipo de recepção em equipamentos convencionais, essa comunicação pode até ser interpretada como imperceptível.

O desenvolvimento da tecnologia *spread spectrum* proporcionou a transmissão dos dados via rádio digital com alta confiabilidade e taxas de transmissão cada vez mais altas e possibilitou o seu uso na implementação de redes locais (LANs) e redes regionais (WANs), trazendo consigo grande capacidade de mobilidade e alta flexibilidade para seus usuários.

Em função da sua baixa potência de transmissão, os rádios do tipo *spread spectrum* não precisam de licença prévia para operar frequências através do órgão regulador oficial. Aqui no Brasil, estão liberadas nas faixas de 900 megahertz, 2400 gigahertz e de 5800 gigahertz, adaptados e apropriados para a utilização dos equipamentos que trabalham com essa tecnologia. Além disso, os grandes fabricantes do mercado ainda especificam a possibilidade do uso dos *links* SS, os quais podem alcançar até 50 km de distância, porém os melhores resultados são obtidos em distâncias menores que 5 ou 10 quilômetros.

Um dos motivos principais que limitam essa distância do *link* é a existência de um número expressivo de sistemas que operam nessa faixa frequencial ou até em faixas próximas em grandes centros populacionais, causando grande fonte de interferência e reduzindo substancialmente a eficiência desse *link*.

Principais vantagens do uso do rádio *spread spectrum*:

- Baixo custo do equipamento.
- Não é necessário licenciamento do órgão regulador – no caso do Brasil, a Anatel.
- Baixo custo de obra baseado na sua infraestrutura, base da antena e para-raios.
- Transparente a praticamente todos os protocolos de camada 3.

Principais desvantagens da tecnologia:

- Pelo fato de não necessitar de uma licença prévia do órgão regulador, a Anatel, a faixa pode ser ocupada por outros usuários sem qualquer tipo de controle operacional.
- Expressivo congestionamento da faixa frequencial em grandes centros populacionais, caracterizando assim a queda de *performance* do *link*.
- Constantes perdas de visada provocadas pelo o crescimento demográfico dentro de grandes centros.



Lembrete

Um dos desafios dos sistemas de salto frequencial é sincronizar o transmissor e o receptor. Uma abordagem é ter a garantia de que o transmissor irá utilizar todos os canais em um período de tempo fixo. O receptor pode então encontrar o transmissor, escolhendo um canal aleatório e escutando dados válidos nesse canal. Os dados do transmissor são identificados por uma sequência especial de dados que é improvável que ocorra sobre o segmento de dados para esse canal, e o segmento também pode ter uma checagem, para verificação da integridade e identificação adicional. O transmissor e o receptor podem usar tabelas fixas de sequências de canal, de modo que uma vez sincronizados, possam manter a comunicação seguindo a tabela. Em cada segmento de canal, o transmissor pode enviar sua localização atual na tabela.

3.1.2.2 Rádio micro-ondas digital PDH ponto a ponto

São compostas, basicamente, por um amplo portfólio de produtos e de fabricantes atendendo a aplicações de última milha em redes corporativas ou simplesmente ao acesso em localidades onde não é possível qualquer tipo de ligação por meios terrestres – por exemplo, fibra ótica e cabo metálico.

Diversas soluções de rádios micro-ondas estão presentes no mercado, envolvendo telefonia celular dos *backbones* dos grandes provedores de telecomunicação.

Essas soluções de rádio micro-ondas agregam grandes vantagens em soluções que demandam grande agilidade e velocidade na implementação do serviço. Um dos elementos que se diferenciam são as soluções de rádio digital que podem ser agregadas. Há diversas soluções de transmissão, como topologias em formato de anel *backbone*, circuitos digitais HDSL (*high-bit-rate digital subscriber line* ou linha de assinante digital de alta taxa de *bits*) ou outras.

Até 155 *megabits* por segundo transformam esse produto de rádio micro-ondas em uma solução altamente competitiva para uso em grandes centros urbanos ou altamente demográficos.

Basicamente, os rádios de micro-ondas operam nas faixas frequenciais de 7, 15, 18, 23, e 38 gigahertz. A proposta da escolha da faixa frequencial dependerá essencialmente da distância do *link* e do volume de dados que deve ser transmitido.

As características principais dos enlaces de rádio do tipo ponto a ponto operam essencialmente no sistema *full duplex*, em que transmitem e recebem dados ao mesmo tempo, porém em frequências distintas, usualmente chamados, no mercado, de canal alto e canal baixo.

Podemos ainda lembrar que os equipamentos que operam nessa faixa frequencial precisam sempre de licença prévia do órgão regulador, no caso, a Anatel. Os modelos de equipamentos não seguem essencialmente uma padronização na sua fabricação, porém, eles não têm características de intercambiabilidade. No momento em que um equipamento que é membro de um *link* apresenta qualquer tipo de defeito, obrigatoriamente, será necessária a troca por outro equipamento do mesmo modelo e marca.

As velocidades de operação das transmissões dependem basicamente de cada modelo escolhido, que compõem um canal padrão E1, chegando a até 16 feixes de 2 Mbps, equivalentes a 34 Mbps para rádios PDH e até 155 Mb para rádios SDH

Uma das características mais interessantes dos rádios de micro-ondas digital é que estes suportam diversas topologias de instalação.

Variando de acordo com sua aplicabilidade, os links podem ser montados nas configurações 1 + 0, ou seja, sem redundância alguma ou ainda do tipo protegido 1 + 1. Esse tipo de configuração é adotado quando é necessária uma alta disponibilidade do *link*.

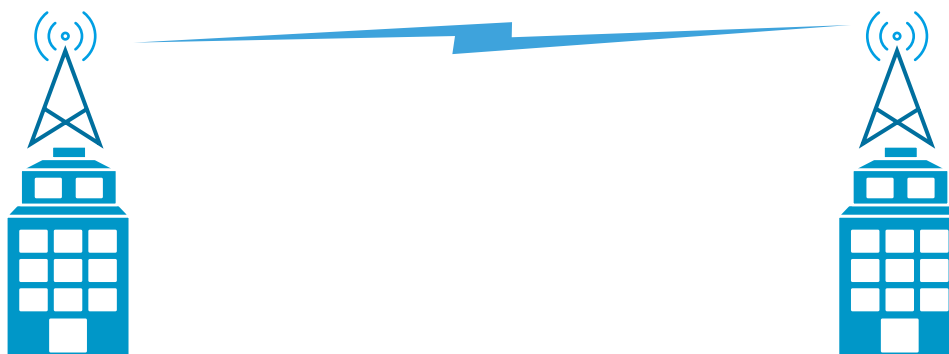


Figura 35 – Representação da topologia de rádio ponto a ponto

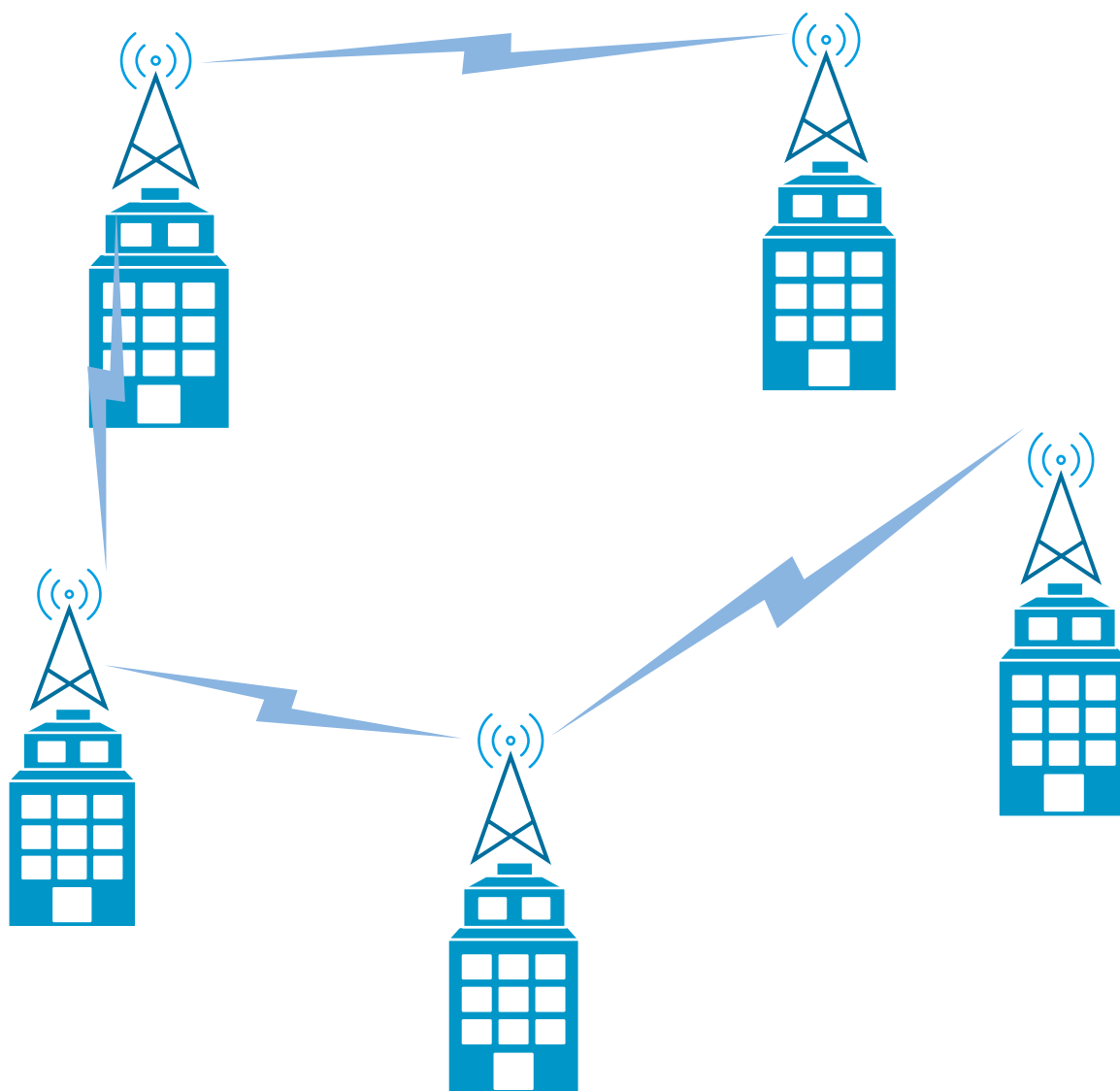


Figura 36 – Representação da topologia de rádio em anel

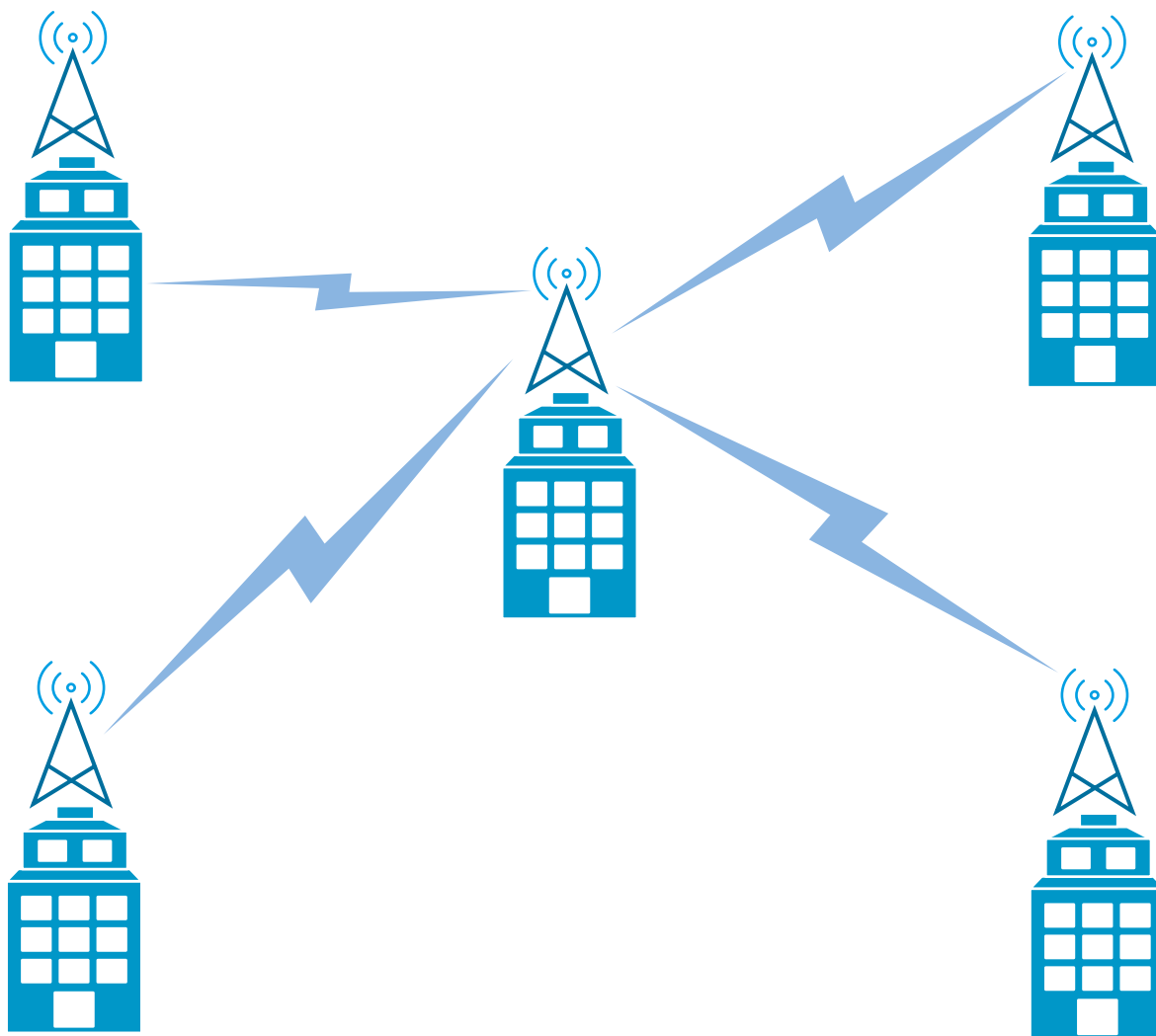


Figura 37 – Representação de uma topologia estrela em rádio digital

A distância operacional máxima por operação de um *link* depende essencialmente das frequências utilizadas, do tamanho da antena, da topologia da região e, claro, da margem de segurança para se obter o que se espera. Normalmente, os rádios digitais são utilizados nas seguintes distâncias sem a utilização de repetidores:

- 7 GHz 8 ~ 25 km.
- 15 GHz 8 ~ 25 km.
- 18 GHz 1 ~ 15 km.
- 23 GHz 1 ~ 10 km.
- 38 GHz 1 ~ 3 km.

Normalmente, utilizam-se as seguintes capacidades de transmissão nos rádios:

- *Backbone*: radioenlace de alta capacidade – taxas de transmissão de 140/155 Mb (64E1).
- Entroncamentos secundários: radioenlace de média capacidade – taxas de transmissão de 16 Mb até 64 Mb (8E1 até 32E1).
- Radio de acesso (*last mile*): radioenlace de baixa capacidade – taxas de transmissão a partir de 2 Mb até 16 Mb (1E1 até 8E1).

Sempre que for necessário operacionalizar ligações que tenham distâncias maiores, o que ainda ocorre em ultrapassagem de obstáculos que promovem a obstrução da visada direta, como o relevo de morros, montanhas e até edifícios, é indispensável a utilização de uma ou mais repetidoras para o estabelecimento do *link*.

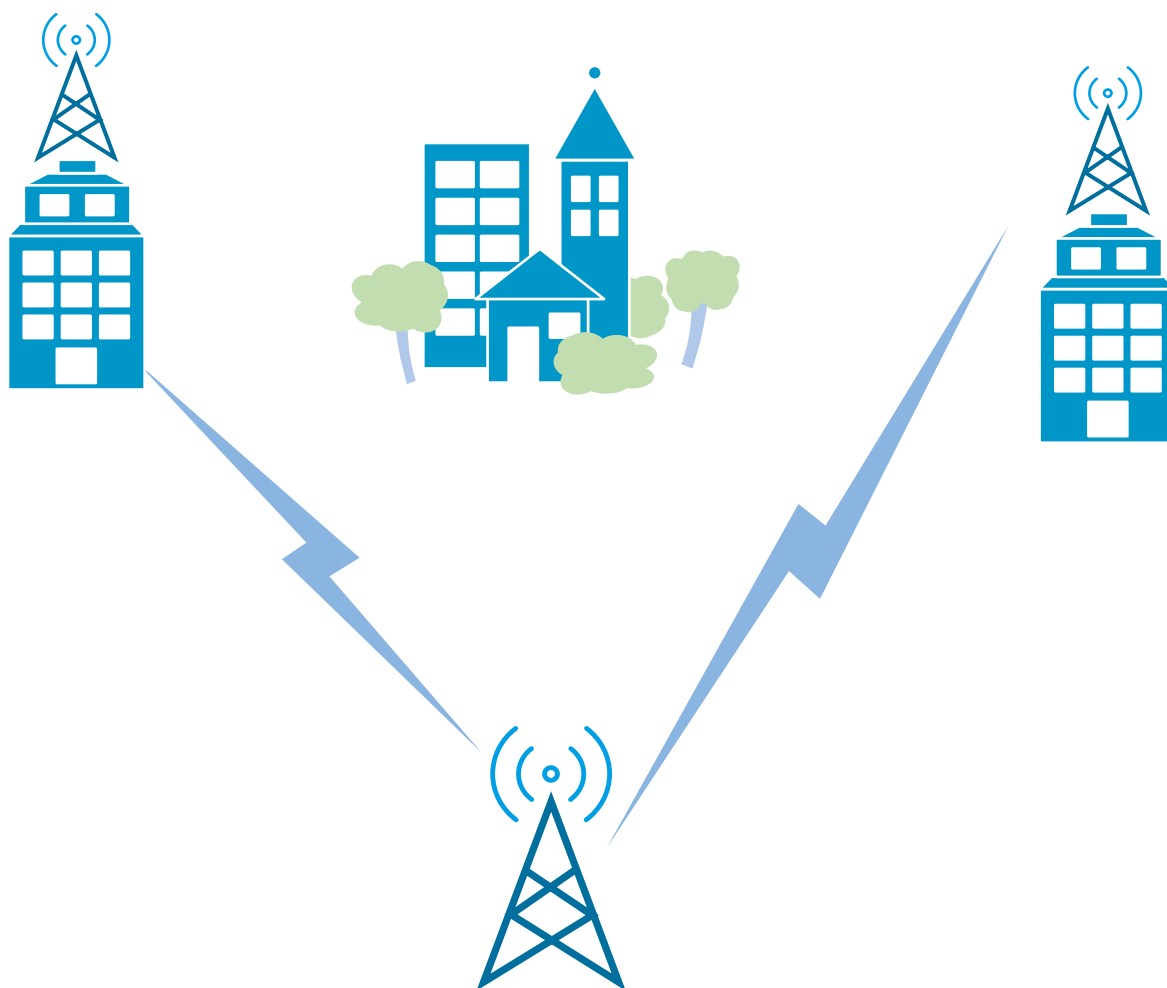


Figura 38 – Implementação de uma repetidora em topologias de rádio digital

Principais vantagens no uso do rádio micro-ondas digital PDH:

- Alta confiabilidade.
- Alta velocidade.
- Rápida implementação.
- Repetidora.
- Transparente a protocolos.

Desvantagens:

- Necessita de licença da Anatel, sendo necessário projeto e custo anual.
- Custo da infraestrutura (antena, fonte, para-raios).
- Perda da visada motivada pelo crescimento da cidade.

3.1.3 Uma opção viável de conectividade para redes de dados

As redes de dados encontram dificuldade de limitação do espectro de frequências e possuem a necessidade de maiores capacidades. Com o crescimento das redes locais e das redes de dados, atualmente, ocorrem problemas como circuitos de alimentação ou ainda disponibilidade de meios físicos para o transporte de dados apontados em redes de alta velocidade. Logo, na interconectividade de uma rede local LAN com uma rede de WAN, torna-se imprescindível a utilização de uma conexão de alta capacidade.

A velocidade e o volume de tráfego dos dados de uma internet para uma intranet vêm crescendo substancialmente a uma taxa muito maior do que toda a malha de infraestrutura e de linhas físicas de última milha, que podem ser disponibilizadas em curto prazo. As conexões do tipo sem fio de banda estreita ainda possuem uma razão custo-benefício melhor do que a implementação de uma tecnologia LAN/MAN.

Porém, a indisponibilidade de frequências operacionais é o grande fator de restrição desse tipo de solução. Nesse momento, os provedores de serviços e de redes privadas possuem uma nova alternativa de rede sem fio que não necessita de um licenciamento prévio para suas frequências: a técnica do *spread spectrum*. Essencialmente, o método de modulação frequencial ou espectral consiste na distribuição de energia do sinal transmitido mediante uma ampla faixa de frequências operáveis, permitindo, assim, que vários usuários possam compartilhar a mesma faixa espectral, observando os critérios de compartilhamento e de suporte de tecnologia dos microprocessadores.

O sistema *spread spectrum* permite o uso simultâneo da mesma porção do espectro sem provocar altos níveis de interferência mútua que sejam significativos para o transporte das informações. O

resultado dessa condição é um aumento da capacidade transmissível. Se o sistema estiver em uma razão de dimensionamento adequada, seus dados serão transmitidos de forma eficiente com o alto índice de ocupação espectral.

No momento seguinte, os provedores de serviços estarão disponibilizando subsídios ou elementos suficientes para a melhor escolha do espectro contido ou do espectro espalhado para um sistema de transmissão de dados, sobretudo, de acordo com suas especificidades e particularidades. A representação dessas duas técnicas de espelhamento espectral da sequência direta e do salto de frequência irá proporcionar um entendimento dos princípios de funcionamento desses métodos de modulação para redes de rádio digital.

Quando usar espectro contido (licenciado) ou espectro espalhado (sem necessidade de licença)?

Inúmeras agências governamentais utilizam o procedimento para obtenção do licenciamento e também para coordenar o uso dos canais de espectro contido a fim de evitar qualquer tipo de interferência. O licenciamento, essencialmente, protege o direito do usuário de transmitir e receber suas informações, sem a interferência em uma determinada área ou região, através de uma única frequência com uma limitação específica de potência da transmissão. Porém, quando essas licenças já estão todas em uso ou foram concedidas ou ainda quando há a existência da necessidade de maiores capacidades de transmissão, os sistemas de espectro espalhados que não necessitam do licenciamento podem ser aplicados com êxito, desde que corretamente dimensionados para a tarefa.

3.1.3.1 Espectro contido – a solução histórica

A maneira de canalizar frequências utilizando uma menor largura de faixa possível tem sido um dos maiores desafios dos últimos 70 anos. Mas, recentemente, a escassez de faixas de espectro fez com que os engenheiros de telecomunicação a rádio criassem novas tecnologias de modulação com a intenção clara de reduzir a largura de faixa proporcionalmente enquanto buscavam aumento da capacidade de transmissão. A capacidade dos rádios baseados em aspectos contidos mais atuais proporciona alta imunidade a interferência e ruídos.

A outorga de licenças pelas agências governamentais para o espectro contido garante ao cessionário da licença que outro usuário do serviço não irá interferir em sua transmissão de rede, ainda que transmita no mesmo canal em uma determinada região geográfica definida. O usuário tem um total controle de sua frequência e de seus canais do espectro contido licenciado. Esses elementos são imprescindíveis para aplicações críticas no transporte de dados.

O licenciamento ainda promove uma redução potencial das fontes de interferência no local e garante a alta disponibilidade do canal no momento da transmissão. O controle regulamentado controla ainda a propagação dos sinais e, conseqüentemente, a interferência.

Porém, uma crescente demanda por frequências padrão, licenciada na maioria dos países, e a limitação bem definida do espectro de rádio elétrico apontam para uma escassez dos canais de radiofrequência, provocando um processo mais longo e lento na implementação das aplicações.

3.1.3.2 Espalhamento espectral – uma nova solução para um novo problema

Os benefícios que um rádio *spread spectrum* pode oferecer se comparado a um rádio de espectro contido com características semelhantes é uma melhor aplicabilidade de projeto. Notadamente, o rádio *spread spectrum* incorpora o maior espaço espectral do que é realmente necessário para transmitir uma determinada quantidade de informação. Essa técnica do espalhamento frequencial através de uma larga faixa frequencial ainda nos permite um compartilhamento simultâneo da banda com outras aplicações. O experimento espectral contorna a maioria dos problemas causados pelo *jamming* em potencial e ainda tem uma alta tolerância à interferência.

Uma das respostas à maior necessidade do aumento de capacidade, a maioria das agências governamentais lideradas pelo FCC dos Estados Unidos promovem a alocação de algumas faixas preferenciais de uso sem a necessidade de licenciamento. O simples fato de essas faixas frequenciais não precisarem de licenciamento caracterizam a possibilidade de elas poderem ser mais largas e, conseqüentemente, acomodar altas taxas de transmissão.

As tecnologias digitais, no contexto de modernidade e de baixo custo, foram integradas à tecnologia de radiofrequência para desenvolver rádios que utilizam de uma forma mais eficiente o espectro disponível, os quais possuem maior largura de faixa frequencial, com exceção de centenas de canais que estão disponíveis para uso. Como os canais podem ser utilizados simultaneamente por outros usuários da mesma tecnologia, o projeto de espectro contido deve levar sempre em consideração o compartilhamento dessa mesma banda.

Os códigos de espalhamento, bem como os autos frequenciais que sejam atribuídos unicamente a cada par de rádios, são utilizados para habilitar os usuários que operam sem as preocupações da quebra de sigilo ou de qualquer tipo de interferência local. A tecnologia ainda nos permite a coexistência com outros rádios do tipo *spread spectrum* na mesma área. A tecnologia *spread spectrum* foi utilizada com muita eficiência em aplicações militares ao longo dos últimos anos, por ser segura e, geralmente, por possuir uma imunidade única relativa à captação de outros sistemas.

O sucesso da operação em projetos de rádio *spread spectrum* deve ser cuidadoso. Os usuários não devem apenas escolher uma tecnologia *split* ou de faixa frequencial, mas uma que ofereça qualidade e desempenho. A grande oferta de equipamentos de mercado atual desconhece a tecnologia do *spread spectrum*, e o mercado ainda promove uma dificuldade imensa na avaliação do desempenho quanto à escolha do melhor sistema para uma aplicação específica. A grande confusão de conceitos e soluções acrescenta um grande número de sistemas de espectro contido, operando na mesma faixa frequencial.

A seguir enumeramos as tecnologias que oferecem um dimensionamento mais ajustado e adequado ao crescimento das principais topologias de rede, baseado também no tipo de informação e no total de dados que devem ser simultaneamente interligados dentro da mesma área.

3.1.3.3 Tecnologia *spread spectrum*

Tecnologia que usa basicamente dois métodos para o espalhamento espectral: a sequência direta e o salto frequencial. Os dois métodos possuem vantagens e desvantagens dependendo essencialmente do ambiente operacional. Se formos compará-los, o salto de frequência é bem mais simples e muito mais barato, porém ambos oferecem uma intensa rejeição à interferência externa, cada uma tratada de forma diferente. No entanto, o *spread spectrum* trata os canais de dados de maneira igualmente proporcional às faixas de transmissão, mas ainda devem ser avaliados os elementos relativos à taxa de transmissão, sobretudo aqueles comparados à distância máxima e à rejeição intensa à interferência.

3.1.3.4 Sequência direta

A metodologia de espalhamento espectral conhecida como sequência direta permite aos usuários utilizarem um mesmo canal ao mesmo tempo, distinguindo-se um dos outros através de um código digital chamado de pseudoruído (*pseudo noise* – PN).

Esse código é randômico e utilizado, basicamente, para particionamento de cada bloco de dados em muitos outros blocos de dados. O mecanismo transmissor de frequência direta, nesse momento, promove o espalhamento dos dados através de uma grande largura de faixa frequencial, modulando *stream* de *bits* original através desses módulos. Utilizando o mesmo código de pseudoruído o transmissor e o receptor podem, então, se comunicar.

Os dados, uma vez recebidos pelo receptor, são decodificados mediante uma correlação comparativa de pseudoruído, extraíndo, então, os dados originais da massa de dados transmitidos.

O total da largura de banda utilizada é dividido pela caixa de transmissão original resultante do ganho do processamento do sistema. Quanto maior o ganho do processamento, maior será a rejeição à interferência ou a qualquer tipo de ruído envolvido. O tipo de regulamentação desse serviço requer um mínimo de 10 para 1 de ganho de processamento para o sistema sem licenciamento de frequência direta.

A capacidade de um sistema de sequência direta é rejeitar sistematicamente um sinal não desejado. Esse sistema, então, se torna totalmente dependente, promovendo um ganho efetivo de processamento. Temos um exemplo de um rádio *spread spectrum* de sequência direta, obtendo um ganho de processamento de 15 decibéis, a fim de que o sinal não desejado, que tem a capacidade de produzir qualquer efeito que degrade o sinal efetivo, esteja, no mínimo, 15 decibéis acima do sinal principal.

3.1.3.5 Salto de frequência

O método do espalhamento espectral, baseado em salto frequencial, pode, também, espalhar os dados baseado na energia da portadora, com relação ao tipo de informação a ser transportada, mediante a mesma porção espectral (banda base relacionada à frequência de transmissão), fazendo com que a portadora rapidamente salte de uma frequência para outra.

O método utilizado por um rádio de espalhamento por salto frequencial transmite um sinal em uma determinada faixa frequencial por um período muito curto de tempo, cerca de 100 saltos por segundo. O sinal, então, salta de frequência e retoma o fluxo de transmissão contínua.

A atribuição obedece a um padrão de sequência chamada de sequência pseudorrandômica, apenas conhecida pelos rádios que estão se comunicando numa forma de pareamento.

O fato de esse padrão de salto ser conhecido apenas pelo par de rádios utilizados na transmissão sincronizados na mesma sequência maximal proporciona um alto grau de dificuldade de interceptação dos dados nesse tipo de transmissão. Qualquer entidade que venha a interferir na comunicação deveria conhecer exatamente o padrão de sequência de saltos que possibilite interceptar o sinal de radiofrequência e, conseqüentemente, extrair a informação transmitida.

Eventualmente, poderá existir um sinal de interferência intermitente de um rádio de espectro contido, ainda que tenha as características e a transmissão em uma das frequências da sequência de salto de forma simultânea, porém o rádio FH (*frequency hopper*) saltará para outra frequência e iniciará um novo ciclo de transmissão.

3.1.3.6 Como um rádio *spread spectrum* evita interferência

Em relação à tecnologia de espalhamento espectral, pode-se fazer a seguinte pergunta: irão as bandas espectrais, um dia, estar congestionadas?

Se os seguintes regulamentos forem seguidos, a resposta é: provavelmente não, as bandas irão permanecer relativamente livres de interferência:

- As redes de rádios devem ser corretamente projetadas, usando códigos PN únicos.
- Os sistemas de comunicação devem atender totalmente aos regulamentos das agências governamentais.
- Devem ser usadas antenas com alta diretividade e alta relação frente-costa (visada).

Para que uma interferência agressiva ocorra em um sistema bem projetado, um número significativo de rádios, em uma área relativamente pequena, precisaria transmitir continuamente ou usar um nível de potência de transmissão acima do limite permitido.

A relação sinal/ruído+interferência é o parâmetro importante para qualquer sistema *wireless* que define a qualidade do enlace. O número de rádios e o número de diferentes códigos pseudorrandômicos que estão disponíveis afetam a margem (campo operacional da frequência e salto frequencial escolhido para a transmissão dos dados) que indica a chance de os receptores receberem dados com sucesso. Quanto maior o número de padrões de saltos ou códigos PN únicos, maior será o sucesso da transmissão.

3.1.4 Conclusão: selecione o sistema certo para sua aplicação

Quando corretamente projetados para otimizar o espectro disponível, tanto os produtos *spread spectrum* quanto o espectro contido podem prover as soluções para usuários que estejam buscando ampliação de capacidade.

A seguir estão listados alguns dos usos para as comunicações *spread spectrum* ponto – multiponto Scada (supervisão, controle e aquisição de dados):

- Abastecimento de água (gerenciamento).
- Companhias geradoras e distribuidoras de energia elétrica.
- Companhias de petróleo e gás (oleoduto e gasoduto).
- Estradas de ferro.
- Agricultura.
- Bombeiros.
- Pontos de venda.
- Máquinas ATM.
- Casas lotéricas.
- Empresas de segurança.
- Serviços telefônicos sem fio.
- Monitoração climática remota.
- Monitoração e/ou controle de processo de manufatura.
- Controle/sincronização e monitoração de tráfego.
- Monitoração de vídeo de baixa velocidade (*slow scan video*).
- TCP/IP (comunicações intranet).
- Monitoração de alvos militares.
- Gerenciamento remoto de carga elétrica.

Analisando essa escolha baseados na topologia, podemos avaliar as aplicações quanto à topologia ponto a ponto:

- Telefonia convencional.
- Defesa civil.
- *Links* de redundância ou teste.
- *Links* ISP.
- WLL.
- *Links* temporários.
- Testes de caminhos.
- Conexão de LANs ou WANs.

A largura de banda estreita de um sinal de espectro contido licenciado, que é geralmente livre de interferência e sempre disponível, causa transtornos quando aplicada em regiões densamente povoadas. Outro usuário não pode transmitir no mesmo canal, já que ele é protegido por licença.

Ao se usar um código pseudorrandômico para particionar cada bloco de dados em múltiplos blocos, um rádio de sequência direta transmite os dados fraccionados através de toda a largura de banda. Usando o mesmo código único, o transmissor e o receptor podem se comunicar entre si.

Os sinais gerados por rádios *spread spectrum* por salto de frequência saltam rapidamente de canal para canal em uma sequência pseudorrandômica. Apenas o transmissor e o receptor conhecem o código.

3.2 A tecnologia dos satélites de comunicação

3.2.1 A história dos satélites de comunicações

Fatos curiosos ocorridos no final da década de 1950 e no início da década de 1960 mostravam que as pessoas procuravam se comunicar das formas mais incomuns, emitindo sinais que se refletiam em balões meteorológicos metalizados.

Porém, esses sinais emitidos eram muito fracos e não tinham eficiência alguma na comunicação. Depois disso, a Marinha americana descobriu um balão meteorológico que ficava permanentemente no céu – a Lua – e queria um sistema operacional para comunicações entre os navios e as bases que a utilizasse como repetidor de sinal.

Os grandes progressos no campo da comunicação celeste tiveram de esperar até que o primeiro satélite de comunicação fosse lançado aos céus. A principal diferença de um satélite artificial para um satélite real é que o satélite artificial tem o poder de amplificar o sinal enviado e transmiti-lo de volta para a Terra.

O satélite de comunicação possui diversas propriedades interessantes que os tornam muito eficientes em diversas aplicações. Baseado em sua forma simples, ele é entendido como um grande repetidor de informações no formato micro-ondas. Ele contém diversos *transponders* (abreviação de transmissor/receptor, necessários no processo de comunicação por satélite que, usualmente, recebem os dados em uma frequência e os retransmitem em outra). Cada um deles ouve uma parte da frequência do espectro, amplifica os sinais de entrada e os retransmite em outra frequência para a Terra, justamente para evitar a interferência do sinal de chegada. Os feixes descendentes podem ser largos, cobrindo uma porção substancial da superfície da Terra, ou ainda estreitos, cobrindo uma área com apenas centenas de quilômetros de diâmetro. Esse método de comunicação é conhecido como canal em curva (*bent pipe*).

O período orbital, conforme a Lei de Kepler, tem variação de acordo com o raio da órbita elevada à potência de $3/2$. Observa-se que quanto mais alto o satélite, mais longo e maior é o seu período orbital. Próximo da superfície da Terra, o período é de cerca de 90 minutos, assim, os satélites de órbita baixa somem da visada rapidamente; nessas condições, são necessários muitos mais satélites para proporcionar uma cobertura extensa e contínua. A uma altitude de aproximadamente 35.800 km, o período orbital é de 24 horas; a uma altitude de 384.000 km, o período orbital é de cerca de um mês – basta observar a Lua regularmente para testar essa teoria. O período orbital de um satélite é considerado muito importante, mas não é o único fator para se determinar seu posicionamento.

O outro ponto a ser observado é a presença do cinturão de Van Allen, camadas de partículas altamente carregadas que são capturadas pelo campo magnético da Terra. Certamente, qualquer objeto ou satélite orbitando dentro desses campos seria destruído com muita rapidez pelas partículas altamente carregadas de energia, capturadas pelo campo magnético da Terra. No entanto, há três regiões em que os satélites podem ser posicionados com absoluta segurança.

3.2.2 Satélites geoestacionários

Arthur C. Clarke, escritor de ficção científica da década de 1940, calculou que um satélite a uma altitude de 35.800 km em órbita circular, na posição equatorial, nos daria a impressão de estar imóvel no céu; assim, não seria necessário promover o seu rastreamento.

Seu estudo continua com o sistema de comunicação completo, que utilizava satélites do tipo geoestacionário ou satélites do tipo *geosynchronous* (tripulados) e inclui, ainda, as órbitas, os painéis solares, as frequências de rádio e os procedimentos de lançamento. Ele concluiu que esses satélites eram impraticáveis devido à incapacidade de colocar amplificadores de sinais com válvulas no céu, pois eram frágeis e necessitavam de muita energia. Por isso, sua ideia foi deixada de lado, e nos restaram apenas suas histórias de ficção científica.

A figura a seguir mostra os satélites de comunicações e algumas de suas propriedades, inclusive a altitude acima da Terra, o tempo de retardo de ida e volta e, ainda, o número de satélites necessários para cobertura global:

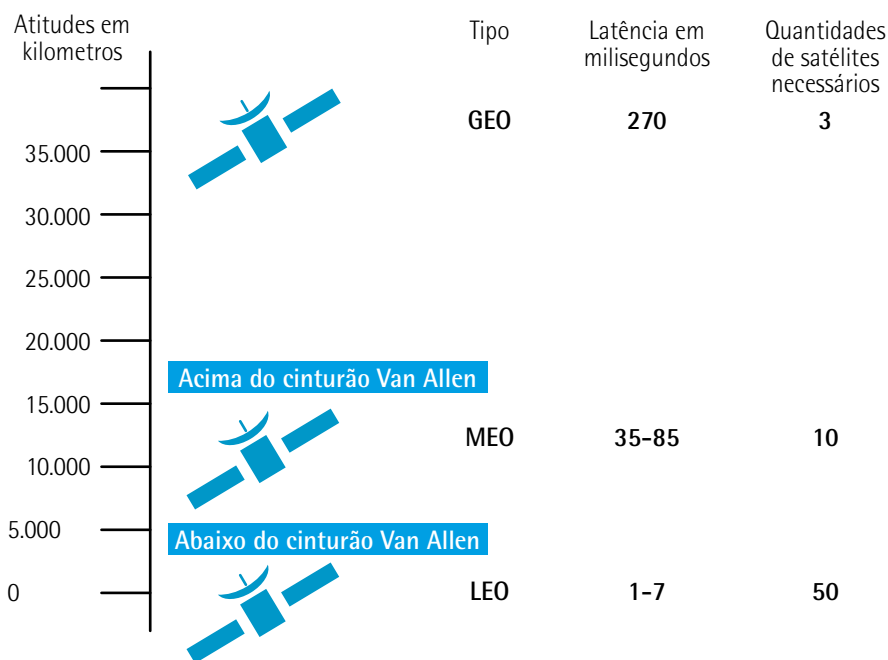


Figura 39 – Posicionamento dos satélites em torno da Terra

A tecnologia avançou com a invenção do transistor, quando foi criado o primeiro satélite artificial de comunicações chamado Telstar, lançado em julho de 1962. A partir daí, os satélites de comunicações viraram um negócio bilionário, e o espectro do espaço sideral tornou-se altamente lucrativo para muitas empresas.

Os satélites que orbitam a faixa alta são chamados de frequências de satélites geo ou simplesmente *geoestacionary Earth orbit*. Se observarmos as tecnologias atuais, não seria muito prático e eficiente possuir satélites geoestacionários orbitando a Terra, devido ao espaçamento entre os satélites dentro da mesma órbita, onde encontramos distâncias de aproximadamente 2 graus entre eles, fixados no plano equatorial de 360 graus simplesmente para evitar a interferência.

Observando um espaçamento de apenas 2 graus, poderíamos ter $360 / 2 = 180$, ou seja, poríamos posicionar 180 desses satélites no céu ao mesmo tempo. Entretanto, cada *transponder* pode usar inúmeras frequências e polarizações, no melhor aproveitamento frequencial a fim de aumentar a sua banda disponível.

A fim de evitar esse caos no céu, é promovida a locação de *slots* nas órbitas, que é feita pelo ITU. Essa é uma decisão altamente política promovida por países mais desenvolvidos, que exigem seus *slots* de órbita com a finalidade de serem arrendados pela melhor oferta. Entretanto, outros países sustentam seus direitos nacionais de propriedade e não entendem que para cima, para o céu, nenhum país teria esse direito legal sobre os *slides* de órbita acima de seu território, o que aumenta ainda mais a disputa das

empresas de telecomunicações que operam no âmbito comercial, isso sem mencionar os mecanismos militares, que também querem ter a sua fatia do espectro do céu.

Os satélites da atualidade têm uma tendência a serem maiores, podem pesar até quatro toneladas e consomem muitos *kilowatts* de energia elétrica produzida por seus painéis solares. Os efeitos da gravidade solar, lunar e planetária tendem a movê-los para fora de seus *slots* de órbita, modificando sistematicamente suas orientações. Esse efeito é compensado por seus motores de foguete embarcado. A manutenção de ajuste fino é conhecida como manutenção da estação; entretanto, quando acaba seu combustível, que dura em torno de 10 anos, esse satélite fica sem controle e deve ser desativado.

Ao longo do tempo, a órbita do satélite desativado se torna descendente. Ele reentra na atmosfera terrestre e pode queimar na reentrada ou cair no solo da Terra.

Lembramos que os *slides* da órbita não são o único ponto de discórdia entre as nações: as frequências também são disputadas por todos, principalmente quando o motivo das transmissões de satélite para a Terra *downlink* interfere sistematicamente nos usuários de micro-ondas das bases terrestres. Assim, o ITU promoveu a locação de determinadas bandas de frequência apenas para os usuários de satélite.

A banda C foi a primeira a ser designada para o tráfego comercial de satélites, e outras duas faixas frequenciais são atribuídas para essa banda: uma inferior para *downlink* do satélite para Terra e outra superior de *uplink* da Terra para o satélite. Naturalmente, para permitir que o tráfego aconteça nos dois sentidos simultaneamente, serão necessários ao menos dois canais, um para cada sentido de tráfego.

Porém, sabemos que essas bandas já estão altamente sobrecarregadas, principalmente porque são usadas por muitas concessionárias de telecomunicações nos enlaces terrestres de micro-ondas. Por esse motivo, as bandas L e S foram adicionadas em um grande acordo internacional no ano de 2000, mas o efeito dessa ação é cosmético, porque elas estão lotadas e têm um formato estreito.

Tabela 10 – Distribuição das bandas de satélite

Banda	Downlink	Uplink	Largura de banda	Problemas
L	1,5 GHz	1,6 GHz	15 MHz	Baixa largura de banda, sobrecarregada.
S	1,9 GHz	2,2 GHz	70 MHz	Baixa largura de banda, sobrecarregada.
C	4,0 GHz	6 GHz	500 MHz	Interferência terrestre.
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Chuva.
Ka	20 GHz	30 GHz	3.500 MHz	Chuva, custo do equipamento.

Fonte: Tanenbaum (2011, p. 98).

A banda operacional mais alta disponível para uso das concessionárias de telecomunicações comerciais no emprego dos satélites é a banda Ku (*K under*). Até o momento, essa banda ainda não está congestionada no uso de suas frequências, e os satélites ainda podem ficar a uma distância relativa de um grau.

Porém, existe outro problema: a chuva. Sabendo que a água é um grande absorvente das micro-ondas oriundas dos satélites, várias estações terrestres são separadas por uma grande distância. Assim, quando o efeito da chuva acontece em uma determinada região, outra toma o seu lugar a um ponto distante do evento, o que permite uma comutação muito rápida entre as estações terrestres na sintonia da frequência de satélite. Existe também a banda Ka (K *above*), que é usada frequentemente para o tráfego de satélite comercial, porém o equipamento necessário para esse tipo de transmissão ainda é muito caro. Além dessas bandas comerciais conhecidas, também existem outras bandas para uso governamental e militar.

Avaliamos que um satélite atual possui cerca de 40 *transponders*, cada um com largura de banda de cerca de 80 megahertz. Em geral, cada *transponder* opera com canal em curva, porém, satélites recentes têm uma capacidade única de processamento a bordo, permitindo uma operação muito mais sofisticada e aprimorada, lembrando que quando os primeiros satélites de comunicação foram lançados, a divisão dos *transponders* era em canais estáticos, promovendo, assim, uma largura de banda dividida em *slot* de tempo internamente para frequência, o que fazia com que os usuários se alternassem no *slot* de tempo para concluir suas tarefas.

Lembramos ainda que os primeiros satélites geoestacionários possuíam um único feixe espectral que cobria cerca de um terço da superfície da Terra, cuja área de cobertura era conhecida por *footprint*. No entanto, com a queda do preço dos equipamentos, do tamanho e dos requisitos de potência necessários para alimentar os componentes da microeletrônica, uma nova viabilidade técnica na estratégia de transmissão se tornou mais sofisticada.

Sabemos que cada satélite é equipado com diversas antenas e diversos *transponders* embarcados. Cada face descendente pode ser focalizada em uma pequena região geográfica da Terra, mas podem ainda acontecer simultâneas transmissões ascendentes e descendentes. Em geral, esses feixes são pontuais e têm uma forma elíptica, e ainda trazem a capacidade de focalizar algumas centenas de quilômetros de diâmetro da Terra. Os satélites de comunicações usados pelos Estados Unidos têm um único feixe para 48 estados contíguos, além de feixes pontuais para o Alasca e para o território do Havaí.

3.2.3 Os satélites VSAT

Uma nova geração de satélites de comunicação advém da criação das microestações de baixo custo chamadas de VSATs (*very small aperture terminals*). Esses pequenos terminais possuem apenas antenas de 1 metro, ou ainda menores, em comparação com antenas de 10 metros de um satélite geoestacionário, e ainda emitem sinais com cerca de 1 watt de energia. Ocasionalmente, o *uplink* opera na velocidade de 19,2 Kbps, porém a velocidade do *downlink* exige 512 Kbps ou mais. A televisão de difusão direta por satélite utiliza essa tecnologia na transmissão de mão única.

Muitos dos sistemas VSAT não possuem energia suficiente, sobretudo quando se comunicam diretamente com outras estações via satélite. Então, torna-se necessária uma estação terrestre do tipo especial chamada HUB, que possui uma antena de alto ganho para retransmitir o tráfego entre os VSATs no céu. Dessa maneira, a operação, o transmissor e o receptor possuem uma grande antena e um gigantesco amplificador posicionado na Terra, apenas para atendê-los. O ponto fraco dessa sistemática

é um retardo maior na troca das estações, porém refletem numa economia substancial nas operações financeiras dos seus usuários.

Recomenda-se para as aplicações dos satélites do tipo VSATs aquelas utilizadas em zonas rurais. Se observarmos que metade da população da Terra vive a uma distância de no máximo uma hora a pé do telefone mais próximo, fazer o lançamento de milhares de metros de fios para cobertura de telefonia fixa até pequenas aldeias certamente extrapola o orçamento operacional de muitas operadoras e acaba inviabilizando o serviço de comunicação. Por isso, o ingresso dos satélites VSAT vem de encontro a essa premissa e, uma vez alimentados por painéis solares e parabólicas de menos de 1 metro de diâmetro, torna esse tipo de operação bem-sucedida mundo afora.

Se observarmos com atenção as propriedades de um satélite, notaremos uma característica muito radical nos enlaces na Terra ponto a ponto: de início, os sinais enviados e recebidos da Terra são trafegados à velocidade da luz (cerca de 300.000 km/s), mas a longa distância de ida e volta produz um retardo substancial para os satélites geo. Dependendo da distância entre o usuário e a estação terrestre e também da elevação do satélite acima do horizonte, o tempo total de trânsito está entre 250 e 300 m/s. Um valor típico é 270 m/s (540 m/s, no caso de um sistema VSAT com um *hub*).

Apenas para comparar, os enlaces de micro-ondas terrestres possuem um retardo de propagação de aproximadamente 3 mil segundos por km, e os enlaces de cabo coaxial ou fibra ótica geram um retardo de cerca de 5 s/km. Nesse último caso, o retardo é maior, porque os sinais eletromagnéticos trafegam com maior rapidez no ar do que em materiais sólidos.

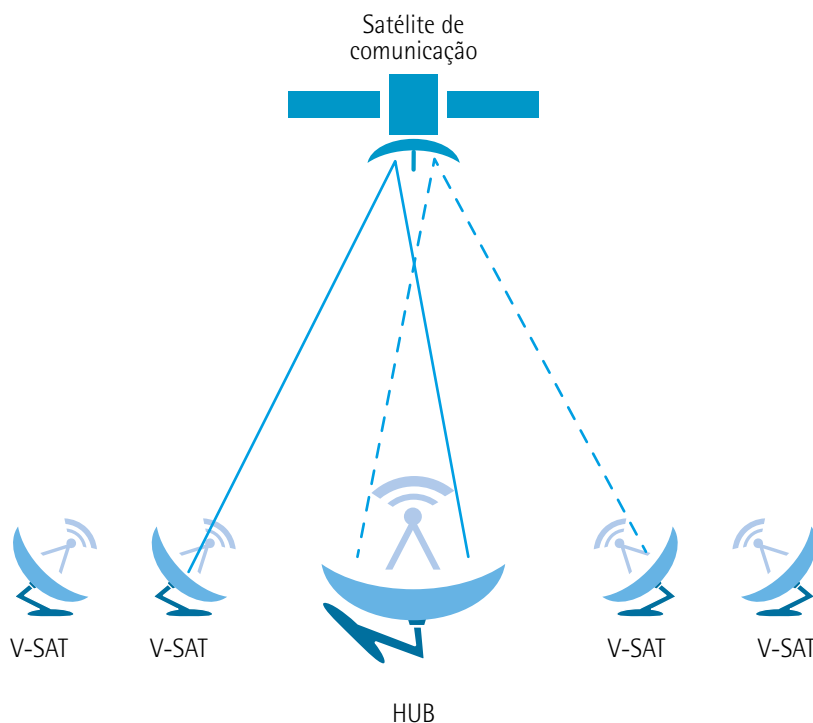


Figura 40 – Utilização das bases receptoras, transmissoras e retransmissoras terrestres

Outra propriedade, não menos importante, que sabemos dos satélites é que eles são basicamente um meio para difusão de informação. Enviar por um *transponder* uma mensagem para milhares de estações localizadas em sua área de cobertura não custaria nada a mais do que enviar uma mensagem para uma única estação.

Se observarmos alguns tipos de aplicações, essa consideração é bastante útil. Poderíamos, por exemplo, imaginar um satélite de comunicações transmitindo páginas da internet das mais populares, tudo por uma grande área extensa. Ainda assim, a difusão pode ser simulada com o uso de diversas linhas do tipo ponto a ponto, e essa mesma difusão por satélite se tornaria extremamente econômica.

No entanto, as questões relativas à segurança e à privacidade das informações devem ser avaliadas, pois, se analisarmos a comunicação por satélite, esse é um ponto muito frágil em toda a cadeia envolvida. Por isso, a criptografia se torna um elemento essencial quando se trata da segurança da informação.

O custo operacional de transmissão de uma mensagem por satélites independe da distância; logo, os serviços de chamadas intercontinentais não custam mais do que uma chamada de telefone fixo para o outro lado da rua. Os satélites ainda agregam excelentes taxas de erros e podem ser aplicados instantaneamente, sem a preparação do ambiente específico para sua transmissão, por isso são perfeitos para a comunicação militar.

3.2.4 Satélites terrestres de órbita média

Operando em altitudes muito baixas, entre os dois cinturões de Van Allen, encontraremos os satélites MEO (*medium Earth orbit*). Se observados da Terra, esses satélites movem-se muito lentamente, levando cerca de 6 horas para circundar o planeta. Eles devem ser acompanhados à medida que se movem pelo céu. Pelo fato de estarem em órbitas mais baixas do que os satélites geoestacionários, eles têm uma área de cobertura muito menor e não são usados para telecomunicação. Esses modelos são usados como satélites de sistemas de posicionamento global (GPS).

3.2.5 Satélites terrestres de órbita baixa

Na altitude mais baixa encontraremos os satélites LEO (*low Earth orbit*), que possuem um movimento rápido. São necessários muitos satélites desse tipo para formar um sistema completo que circunda a Terra. Justamente por estarem muito próximos à Terra, não é necessária muita potência de energia para se comunicar com eles e seu retardo de volta possui apenas alguns milissegundos. São usados para aplicações de internet.

3.2.6 Comparação entre satélites e fibra ótica

Uma comparação inevitável se faz necessária entre a comunicação terrestre e a comunicação via satélite. Há pelo menos 30 anos, pensava-se que o futuro da telecomunicação residia na aplicação dos satélites em órbita na Terra. No entanto, basta avaliar que o sistema de telefonia mudou muito pouco nos últimos 100 anos de história e não mostrou nenhum sinal de evolução aparente para os próximos 100 anos.

Os grandes responsáveis por esse movimento e por esse movimento de inovação e mudanças foram os órgãos reguladores governamentais das companhias telefônicas, que impunham tal metodologia desde que fornecessem serviços de boa qualidade a preços acessíveis. Em troca, obtiveram um lucro expressivo diante seu investimento.

Com o avanço da tecnologia e o surgimento de novos aspectos de concorrência, em 1984, nos Estados Unidos e logo depois na Comunidade Europeia, um novo momento tecnológico surgiu de forma radical. As companhias telefônicas começaram a substituir as suas redes de caráter de longa distância por segmentos de fibra ótica e adicionaram ainda serviços de comunicação de dados banda larga. Padrões como ADSL se propagam rapidamente, o que acabou elevando sistematicamente o lucro dessas companhias.

Observou-se então que as conexões de fibra ótica terrestre seriam uma solução muito viável comparada ao satélite de comunicação, sobretudo em alguns segmentos de mercado, que se tornaram o foco mais atraente da fatia da comunicação.

No entanto, como a fibra ótica não chegava a alguns lugares do planeta, o satélite se tornou uma alternativa viável para atender a esses mercados.

No primeiro momento, se observarmos uma única fibra ótica, teremos, então, uma largura de banda e um potencial de transmissão muito maior do que os satélites lançados até os dias atuais, mas essa largura de banda não estará disponível para a maioria dos usuários, sobretudo em algumas regiões. A fibra ótica pode levar muito tempo para ser implementada junto ao sistema de comunicação, já os satélites demandam pouquíssimo tempo de implementação, e a absorção de seus resultados é praticamente instantânea.

Cria-se, então, um novo nicho de mercado: a comunicação móvel. As pessoas buscam se comunicar, atualmente, quando estão dirigindo nas grandes cidades, navegando em seus barcos ou simplesmente caminhando pela rua. Assim, originaram-se combinações de rádio e de satélite para proporcionar essas funcionalidades em diversas aplicações.



Lembrete

Os primeiros VSAT comerciais foram os sistemas de recepção de banda C (6 GHz) por meio de posicionamentos equatoriais, utilizando tecnologia de espectro disseminado. Mais de 30.000 sistemas com antenas de 60 centímetros foram vendidos no início de 1980. O posicionamento equatorial logo teve sua expansão para um sistema banda C (4/6 GHz) de duas vias usando antenas de tamanho 1 m x 0,5 m e comercializou cerca de 10.000 unidades entre 1984 e 1985.

3.3 A tecnologia das redes VPN

3.3.1 Histórico

Num passado não muito distante, a terminologia VPN (redes virtuais privadas) estava associada a serviços de comunicação remota, a redes de telefonia pública comutada ou a circuitos permanentes virtuais das conexões *frame relay*; porém, nos dias atuais, está associada ao uso das infraestruturas públicas de comunicação, na simulação de redes privadas IP.

Bem antes da utilização desse novo conceito de redes virtuais privadas, as corporações empreendiam grandes quantias de dinheiro para construir redes privadas muito complexas, utilizando intranets com circuitos remotos das mais diversas capacidades para abranger a segurança em suas conexões, como linhas dedicadas para conexão ponto a ponto *frame relay* e até mesmo redes ATM, designadas substancialmente para interligar matriz e filiais das mais diversas companhias.

Ainda pensando em conectividade, também eram utilizados serviços de redes digitais de serviços integrados para unir funcionários às suas corporações. Olhando o aspecto de mercado mais voltado para o passado, empresas pequenas e médias não tinham capacidade de recursos financeiros para estruturar tecnologias de conectividade, as quais eram relegadas apenas às grandes corporações.

À medida que a internet passou a se tornar mais acessível para as pessoas ao redor do mundo e houve o aumento de capacidade de transmissão de dados, muitas empresas e usuários passaram a observar com mais atenção os benefícios da VPN em suas corporações. Agora chamada de extranet, interconectava os usuários externos e internos das companhias e era associada ao baixo custo operacional e à grande disponibilidade de internet. A única questão a ser avaliada é a segurança da informação que trafega nesse ambiente.

A produção das redes virtuais privadas surgiu para ultrapassar os problemas relativos à segurança, adicionando novos protocolos de tunelamento e procedimentos avançados de encriptação de dados, ainda observando a integridade e a autenticidade dos dados que eles possam garantir. A maioria das operações de comunicação ocorre através de uma rede pública usando a internet como base. A implementação e a manutenção de uma rede virtual privada têm um custo muito menor comparado a outras tecnologias dedicadas à mesma função.

Não devemos esquecer que as primeiras redes virtuais privadas surgiram com a necessidade de especialistas para sua manutenção e construção. Essa tecnologia se desenvolveu rapidamente, seu nível de implantação é considerado substancialmente simples, e ela é adequada a qualquer tipo de empresa ou necessidade, sem esquecer as pequenas e médias empresas, antes, excluídas.

Com as redes virtuais privadas, as empresas estão reduzindo, de forma substancial, o custo das conexões de longa distância, principalmente aquelas que atuam em países diferentes, lembrando ainda os aspectos da manutenção dos equipamentos de conexão, bancos de *modems* e servidores de autenticação, que sofreram um extraordinário incremento tecnológico.

3.3.2 Tecnologias

A internet é uma imensa rede pública compartilhada, proporcionada sobretudo pelo uso excessivo de protocolos abertos e transmissão. Assim, as redes virtuais privadas devem possuir mecanismos para o encapsulamento de dados através de túneis e proporcionar a encriptação e autenticação dos elementos e ainda a entrega de dados sensíveis aos seus destinos sem que sejam interceptados ou modificados por entidades terceiras.

3.3.3 Firewall

O *firewall* é, sem dúvida, o mecanismo mais importante que proporciona a conectividade dos usuários de uma corporação para a internet. Apresentado como um *software* ou um *hardware* especialista, ele tem o dever de prevenir de que os dados de usuário não autorizados entrem ou saiam da rede da companhia, baseado em regras e políticas de acesso que especificam os protocolos e os direcionamentos relativos ao caminho dos diagramas transmitidos, sejam eles permitidos ou proibidos. Porém, eles não oferecem uma proteção aos dados após estes saírem do ambiente de rede e ingressarem no tráfego da internet; assim que os dados passam por sua fronteira, nomes de usuários, senhas, números de conta, endereços dos servidores e qualquer outro tipo de informação que seja peculiar estarão visíveis aos olhos de toda sorte de entidades maléficas, como os *hackers*.

Os túneis VPN construídos baseados em algoritmos de encriptação proporcionam uma capacidade sem igual de utilização da rede pública e compartilhada, como é o caso da internet, para a transferência segura de informações após ela passar pela fronteira de um *firewall* e chegar aos domínios da internet.

3.3.4 Túneis

Os túneis são os elementos constructos que capacitam as redes virtuais privadas a se tornarem realmente privadas. Ainda sob o olhar da internet, que é uma rede pública, ela passou a se tornar uma fração de rede privada da própria companhia, tudo isso proporcionado pela capacidade de encriptação e pela privacidade oferecida pelos túneis construídos.

Podemos imaginar, com o termo túnel, um caminho fixo entre a origem e o destino dos dados. Seu comportamento tem possibilidades de ultrapassar o tráfego de qualquer ponto da internet e ainda pode percorrer diferentes caminhos para se chegar a um destino.

As tecnologias para construção de túneis têm a capacidade de encriptar e desencriptar um determinado tipo de protocolo dentro de um pacote IP. Desse jeito, ele pode ser roteado, sofrer filtragem e ainda ser aplicado a dispositivos para controle do custo, da mesma forma que é feito com o tráfego *wide network* (WAN) nas redes tradicionais.

3.3.5 Encriptação

O processo de encriptação é a técnica de ordenar e desordenar as informações, incluindo a capacidade de regeneração da informação original a partir de uma cifra ou, até mesmo, de um texto aberto, quando essa informação sofre o embaralhamento. Essa técnica é conhecida como texto cifrado. De cada lado de um túnel de rede virtual privada podemos encontrar dispositivos VPN a ele associados, sejam eles no formato de *software* ou de *hardware*. De fato, o dispositivo emissor promove a encriptação da informação para um texto codificado antes de enviá-la através do túnel, e o dispositivo receptor cripta a mensagem e devolve a informação ao seu estado original.

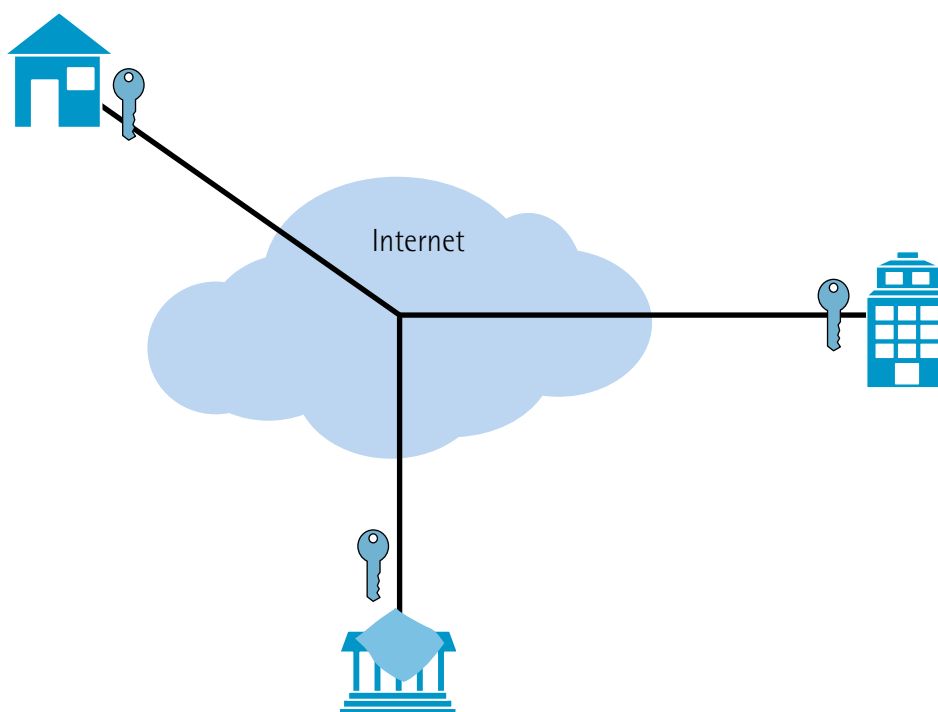


Figura 41 – Representação de uma VPN atuando sob a internet

A matemática entra com os algoritmos de encriptação que promovem o estabelecimento das informações que são encriptadas a uma mensagem original não cifrada, agregando, ainda, a possibilidade de outros parâmetros à mensagem transferida.

Os primeiros algoritmos de encriptação tinham a tarefa de garantir a segurança e manter em segredo o formato de como a informação foi cifrada, lembrando que esse método foi muito utilizado durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial. Entretanto, a partir do momento que o método era revelado, se todas as informações tivessem sido enviadas por aquele canal, estariam vulneráveis. A partir daí, novos algoritmos de encriptação foram pesquisados para garantir a segurança e o segredo dos dados transpassados, e começaram a ser empregados chaves de segurança e algoritmos públicos com o formato DES (*data encryption standard*).

3.3.6 Os algoritmos DES e 3DES

Uma das peculiaridades do DES é oferecer chaves simétricas de 56 *bits* para encriptar blocos de dados de 64 *bits*, observando que esse método pode fornecer mais de 72.000 trilhões de possíveis combinações dessa chave e que mesmo os melhores computadores do planeta levariam, pelo menos, 10 anos para que pudessem descobrir a combinação correta. Se utilizarmos um conjunto de máquinas muito poderosas, poderíamos descobrir essa combinação em questão de minutos.

Nesse momento, um novo protocolo foi criado para suplantiar os poderes de encriptação do protocolo DES. Surgiu, então, o 3DES, que tem o poder de encriptação de informação mais abrangente. Ele se desenvolve na mensagem que é encriptada com uma chave. Seu resultado é decryptado com outra chave, e então encriptado novamente com uma chave original, a qual é enviada ao destinatário completamente diferente de seu formato original. Na chegada da mensagem, o lado cliente executa o procedimento de decifragem na mesma forma como foi embaralhado originalmente. Essa técnica faz com que o tamanho efetivo da chave sofra um acréscimo: de 56 para 168 *bits*.

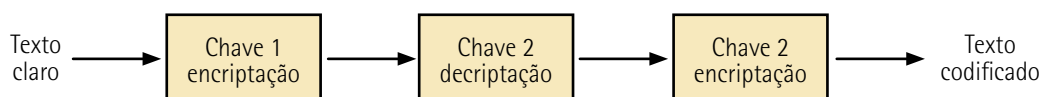


Figura 42 – Demonstração da técnica de encriptação com o algoritmo 3DES

3.3.7 Chaves

Como seu nome sugere, a chave é um código secreto utilizado por inúmeros algoritmos de encriptação no mercado, com a intenção de criar versões únicas de um código de texto cifrado. Isso permite que a mensagem, ao ser encriptada com diferentes tipos de chave, apresente textos decodificados de formas diferentes.

De um jeito intuitivo, podemos dizer que a segurança da transmissão dos dados seria completamente diferente proporcionalmente ao tamanho das chaves utilizadas. Um exemplo seria utilizar uma chave de 16 *bits*, pois o elemento agressor teria de fazer no máximo 65.536 combinações diferentes para revelar a combinação da chave – se pensarmos em computadores comuns, essa tarefa seria executada em poucos segundos. Esse é um dos motivos pelo qual o protocolo de redes virtuais privadas utiliza, nos dias de hoje, chaves de 168 *bits*, proporcionando o aumento significativo do número de combinações que precisam ser executadas para que essas chaves sejam descobertas.

Apesar de todos os benefícios de utilizar uma chave com maior número de *bits* possível, precisamos levar em consideração que quanto maior a chave empregada, maior será o tempo necessário para que os dispositivos das redes virtuais privadas possam encriptar e decryptar as informações. Também precisamos lembrar que se utilizássemos uma chave muito extensa, não haveria espaço suficiente para o transporte da informação em si e os datagramas teriam uma ineficiência incomensurável.

A habilitação de políticas mais eficientes é a ponderação de chaves (quanto ao seu tamanho, nem muito grandes e nem muito pequenas). A implementação de uma troca periódica dessas chaves proporcionaria um nível de maior de dificuldade. O período de tempo da duração de uma chave é determinado pela política de *crypto period* (período de encriptação). As chaves podem ser geradas e trocadas de acordo com um determinado nível para a transmissão dos dados, no início de uma nova sessão de transmissão, enquanto o volume de tráfego estiver baixo.

3.3.7.1 Chaves simétricas

A utilização de chaves simétricas ocorre quando a mesma chave é utilizada a cada construção de um túnel para encriptar e decryptar as informações transmitidas. Como a chave simétrica é construída e compartilhada pelas duas partes, elas devem tomar medidas adequadas para assegurar que a chave permaneça secreta. Esse mecanismo é conhecido como chave secreta.

Esse tipo de chave é bem mais difícil de ser distribuído pelo simples fato de permanecer secreto. Uma das técnicas chamadas de divisão de chave pode ser usada para diminuir consideravelmente o potencial de revelação dessa chave durante a troca do sistema, o que ainda permite a utilização de canais públicos como a internet para meio de transmissão. Outra característica é que esse tipo de chave é distribuído manualmente entre as partes utilizando documentos ou mídias removíveis para sua distribuição.

3.3.7.2 Chaves assimétricas

Da mesma forma que as chaves simétricas são distribuídas, as chaves assimétricas promovem um grau superior de complexidade em suas aplicações, porém demonstram uma facilidade de gerenciamento se comparadas com as chaves simétricas. Estas permitem que a informação possa ser infectada por uma chave e decetada por outro tipo de chave. As duas chaves usadas para essa configuração são chamadas de chave pública, que é aquela distribuída, e chave privada, que é entregue à entidade para ser reconhecida (esta última é mantida em segredo). Com chaves assimétricas, as entidades que promovem a troca de informações utilizam as chaves públicas para o processo, porém mantêm a chave privada em segredo para identificação das entidades.

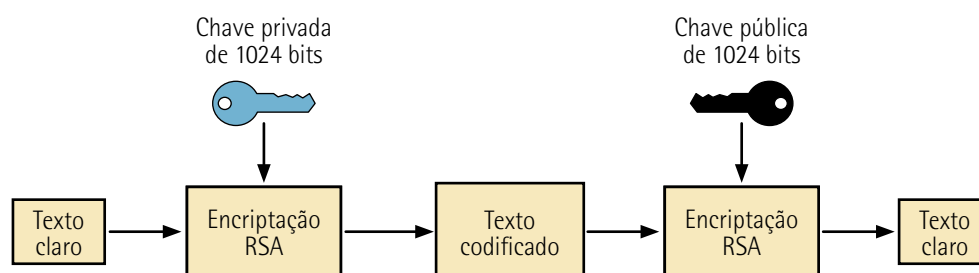


Figura 43 – Exemplo de criptografia assimétrica



Resumo

O *frame relay* surgiu como um divisor de águas na tecnologia de comunicação de longa distância. Certamente foi a primeira tecnologia a buscar índices da qualidade de serviços em redes de longa distância. É promovido por um consórcio e um fórum atuante, apoiado sobre tudo pelo IEEE e ITU-T, para o desenvolvimento de uma arquitetura completa e capaz de interconectar redes de continentes diferentes e ainda propiciar alto nível de confiabilidade e relativa capacidade de implementação para abstrair os problemas, entregando serviços de dados, de voz e de vídeo.

O *frame relay* quebrou um paradigma ao capacitar os administradores de redes a implementar suas arquiteturas e topologias indistintamente dos protocolos que eles precisem, ganhando flexibilidade em suas aplicações e fazendo com que as distâncias diminuam à medida que novas conexões forem embarcadas nas soluções.

Apoiado em um forte apelo da formatação de circuitos em uma rede de pacotes, o *frame relay* quebra mais uma vez o paradigma da camada de enlace, pois transparece o seu melhor da tecnologia sem o emprego da camada de rede para apoiar comunicação entre as partes.



Exercícios

Questão 1. (ESAF 2006) Analise as seguintes afirmativas relacionadas a protocolos, tipos e meios de transmissão, modos de operação e gerenciamento em redes de computadores:

I – Uma rede *frame relay* provê diversos mecanismos para definição da prioridade de um quadro, resultando, com isso, em uma previsão confiável e constante dos tempos de latência. Isso permite que o *frame relay* seja utilizado em redes com aplicações sensíveis a variações dos tempos de latência.

II – O *frame relay* implementa mecanismos que notificam a ocorrência de congestionamento em uma rede, embora não se responsabilize pelo controle de fluxo.

III – Quando uma rede *frame relay* está congestionada, o *bit FECN* (*forward explicit congestion notification*) é ativado. Isso possibilita que o destino saiba que a rede estava congestionada durante a transmissão do quadro.

IV – Em uma rede *frame relay* congestionada, um segundo *bit BECN* (*backward explicit congestion notification*) é ativado no cabeçalho dos dados que não conseguiram, na primeira tentativa, trafegar no sentido do congestionamento.

Estão corretas apenas:

- A) I e II.
- B) II e III.
- C) III e IV.
- D) I e III.
- E) II e IV.

Resposta correta: alternativa B.

Análise das afirmativas

I – Afirmativa incorreta.

Justificativa: o *frame relay* possui a característica de seus frames poderem ter comprimento variável. Dependendo do tipo de informação da aplicação do usuário, seu tamanho pode variar de alguns poucos até milhares de caracteres, fazendo com que o atraso (*delay*) varie em decorrência do tamanho do frame. Por isso, a tecnologia *frame relay* tem sido adaptada para atender até mesmo às aplicações sensíveis a atraso (*delay*), como é o caso da voz. No entanto, a afirmação "previsão confiável e constante dos tempos de latência" extrapola, invalidando o item.

II – Afirmativa correta.

Justificativa: o *frame relay* não faz controle de fluxo, mas utiliza-se de avisos de congestionamento (FECN, BECN, DE).

III – Afirmativa correta.

Justificativa: a capacidade de transporte da rede *frame relay* é limitada pela sua banda disponível. Conforme o tráfego a ser transportado aumenta, a banda vai sendo alocada até o limiar onde não é possível receber o tráfego adicional. Quando atinge esse limiar, a rede é considerada congestionada, embora ainda possa transportar todo o tráfego entrante. O aviso explícito de congestionamento utiliza os *bits* FECN e BECN do cabeçalho do *frame*, para avisar os equipamentos de usuários sobre o estado da rede.

IV – Afirmativa incorreta.

Justificativa: quando o bit BECN é ativado, todos os equipamentos de rede e de usuário envolvidos no caminho entre o local congestionado e a origem dos DLCIs afetados tomam conhecimento do congestionamento.

Questão 2. (FCM 2016) Nas VPN (*virtual private network* ou redes privadas virtuais):

- A) O protocolo *IP security* (IPSec), utilizado em VPNs, faz uso apenas da autenticação como segurança.
- B) A criptografia, base da segurança dos túneis VPN, é utilizada para garantir a autenticidade, o sigilo e a integridade das conexões.
- C) A criptografia, utilizada em VPNs, trabalha na camada 5 do modelo ISO/OSI e, portanto, depende da arquitetura da rede, mas não depende da aplicação.
- D) O túnel VPN é formado pelo tunelamento que permite a utilização de uma rede pública para o tráfego das informações, desde que seja utilizado o protocolo IP.
- E) Os protocolos *layer 2 tunneling protocol* (L2TP) e *point-to-point tunneling protocol* (PPTP) promovem a autenticação, o controle de integridade e o sigilo dos pacotes.

Resolução desta questão na plataforma.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.