

Capítulo 3

Técnicas de Múltiplo Acesso em Comunicação Via Satélite

3.1. Introdução

Nas comunicações via satélite, os canais oferecidos pelos repetidores orbitais, possuem larguras de banda muito elevadas, podendo variar entre 36MHz e 72MHz , dependendo do tipo de satélite e da banda em que opera. Por trabalhar com bandas tão grandes é muito comum um único *transponder* ser utilizado por diferentes serviços, permitindo a melhor relação custo/benefício na operação.

A primeira forma de acesso empregada por satélite é realizada pela divisão de espaço e polarização. O múltiplo acesso por divisão de espaço *SDMA* (*Space Division Multiple Access*) é também conhecido como múltiplos feixes com re-uso de frequência. Através da Figura 3.1 (a) percebe-se que duas diferentes regiões do globo foram cobertas pela mesma faixa de frequência, pois, na maioria dos casos, o sinal de *up-link* é devidamente processado e convertido para frequência de *down-link*. Através da divisão de sinal entre as antenas cornetas que compõem a estrutura radiante do satélite é possível cobrir duas ou mais regiões, simultaneamente, com a mesma frequência de operação.

Esta divisão espacial faz com que a intensidade de sinal em cada uma das regiões seja mais elevada, pois não são cobertas as áreas sem interesse. Sendo assim, a qualidade de atendimento apresentada pelo satélite é maior¹.

Como já apresentado anteriormente no Capítulo 2, os satélites utilizam o re-uso de frequência para possibilitar o aumento do número de canais e, conseqüentemente, o número de usuários. A Figura 3.1 (b) apresenta uma mesma região coberta por dois feixes diferentes, mas na mesma frequência, sendo um deles radiado na polarização vertical e outro na polarização horizontal. Esta técnica é representada pela sigla *PDMA* (*Polarization Division Multiple Access*), ou, simplesmente, re-uso de frequência com duas polarizações distintas.

Estas duas técnicas podem ser empregadas simultaneamente, fazendo com que, fisicamente, o satélite tenha sua utilização desdobrada para diferentes áreas e usuários.

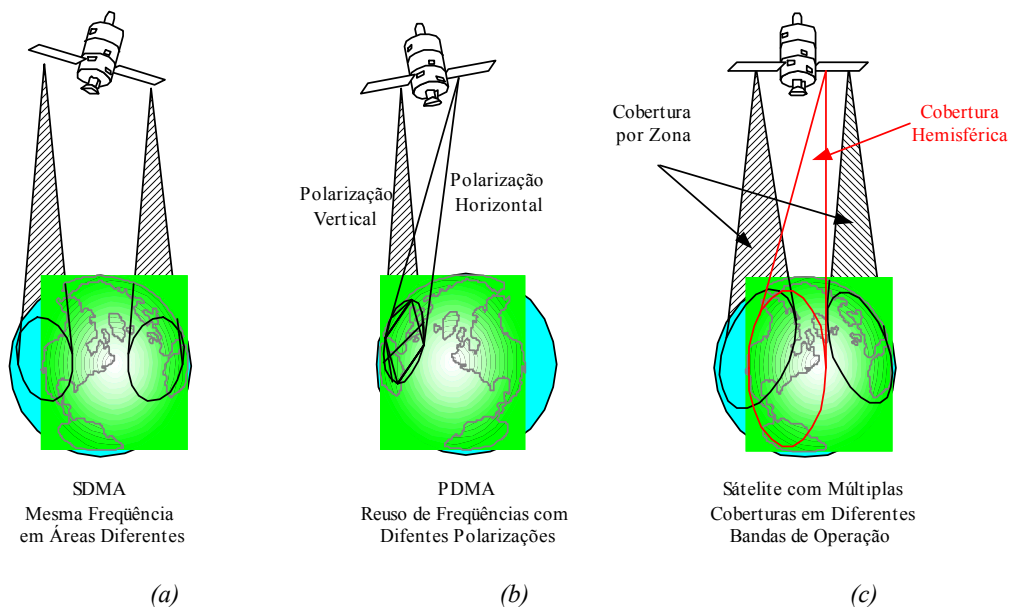


Figura 3.1. Coberturas dos satélites nas condições SDMA e PDMA.

Uma vez definidas as áreas de coberturas e a polarização com que irá operar cada canal, surgem novas necessidades de múltiplo acesso por canal, como será discutido ao longo deste capítulo.

Este acesso de diferentes usuários a um mesmo meio, que é o *transponder* do satélite, deve ser realizado de modo a não provocar degeneração entre os diferentes serviços ou estações. Por este motivo, deve-se utilizar técnicas de múltiplo acesso, para conseguir a melhor alocação e a melhor utilização técnica e financeira do siste-

ma. Existem várias formas de múltiplo acesso em um meio, no entanto, três técnicas são largamente difundidas em telecomunicações.

Inicialmente, o meio foi multi acessado através da partição do espectro de frequências, com a alocação de diferentes canais de comunicação tendo cada um deles a sua própria banda, ou seja, para cada canal existe uma portadora modulada em sua frequência específica. Esta técnica é conhecida por permitir o múltiplo acesso por divisão de frequência e abordada em engenharia pela sigla *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*).

Existe também a possibilidade de trabalhar com múltiplo acesso por divisão de tempo *TDMA* (*Time Division Multiple Access*). Neste caso, a banda é ocupada por uma única portadora e cada usuário ou estação utiliza o meio com a mesma frequência e banda de operação, mas em intervalos de tempo diferentes.

Outra técnica difundida em comunicações de forma geral é o múltiplo acesso por divisão de código *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), que trabalha com a técnica de espalhamento espectral. Para gerar o espalhamento no espectro de frequências do canal é utilizada uma seqüência pseudo aleatória. Através de auto correlação, o receptor consegue recuperar a informação, pois provoca a concentração do sinal correlacionado e o espalhamento do sinal de comportamento descorrelacionado, que pode ser um sinal de interferência ou ruído. Desta forma, consegue-se, no receptor, trabalhar com ótimas relações *C/N* no estágio de *FI* e, conseqüentemente taxas de erro muito baixas. A Figura 3.2 (a), (b) e (c) apresenta, de forma resumida, os múltiplos acessos em frequência, tempo e código².

É importante ressaltar que as técnicas de multiplexação *FDM* e *TDM* estão essencialmente atreladas às características de transmissão, enquanto as técnicas de múltiplo acesso estão ligadas às características de tráfego³.

Tanto o *FDMA* quanto o *TDMA* são formas de múltiplo acesso largamente utilizadas em comunicações com repetidores orbitais em condição geo-estacionária.

Estas duas técnicas são utilizadas de forma independente ou de forma conjunta, existindo, em um mesmo *transponder*, portadoras alocadas em sub-bandas, sendo algumas destas sub-bandas acessadas com *TDMA*.

A técnica *CDMA* é empregada em maior proporção, em comunicações via satélite em condição de órbita baixa. Por este motivo, este trabalho está voltado para as duas primeiras técnicas citadas anteriormente.

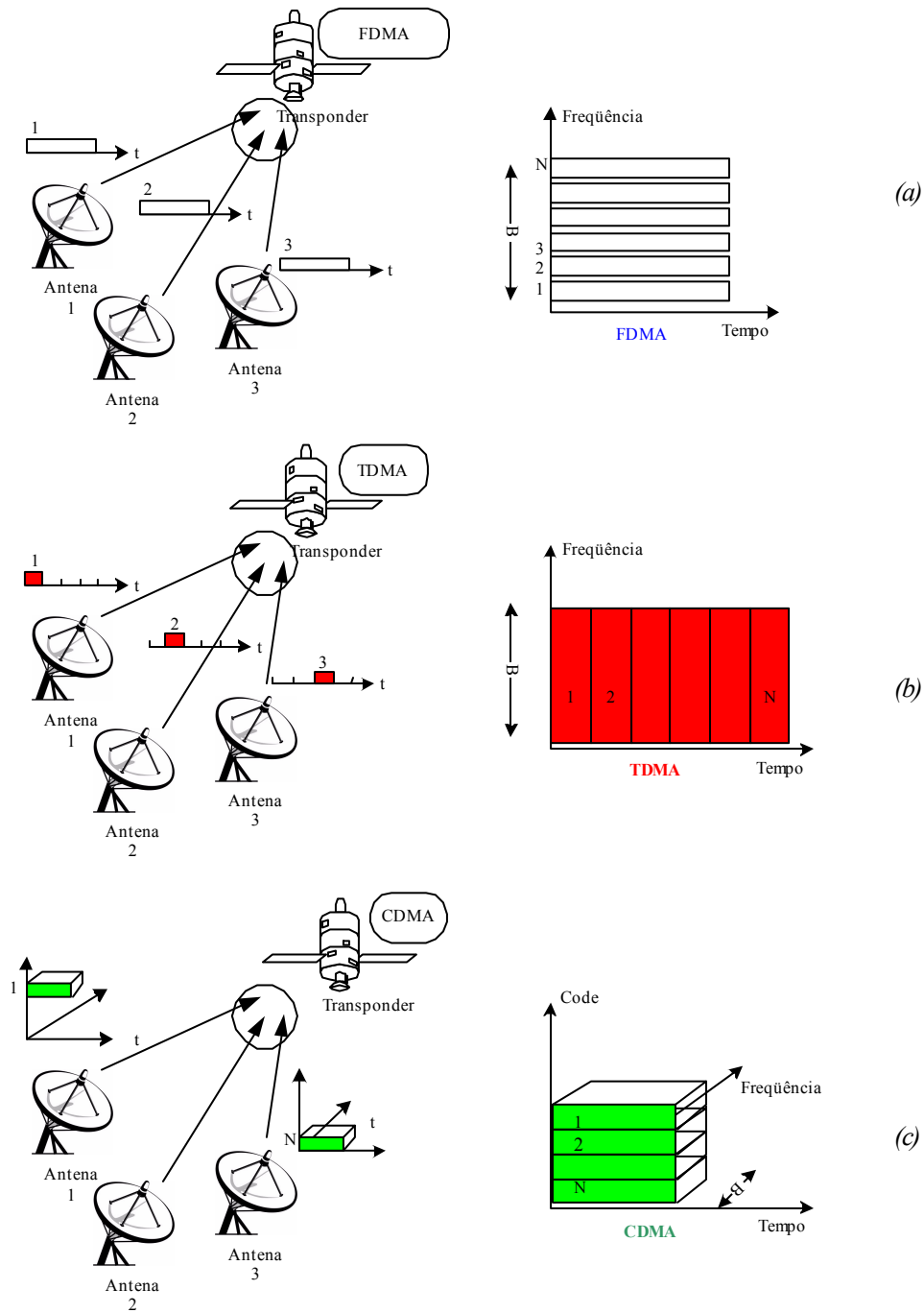


Figura 3.2. Técnicas de Múltiplo Acesso: (a) *FDMA*, (b) *TDMA* e (c) *CDMA*.

O múltiplo acesso também pode ser classificado de acordo com a forma como os circuitos¹ são alocados para uso. A alocação fixa é aquela em que os circuitos são designados a um usuário durante todo o tempo de operação, ou a mais usuários com tempo parcial. Nesta condição, os circuitos não estão à disposição para uso geral de uma determinada rede. A alocação fixa traz como grande vantagem a facilidade de implantação. No entanto, a sua utilização se aplica apenas para usuários com tráfego de dados, elevado e contínuo. Um exemplo desta condição é a transmissão de imagem e som através das redes de ráiodifusão por satélite.

Para sistemas que trabalham com taxas menores e com transmissões esparsas existe uma outra forma de alocação baseada na condição de demanda. A alocação por demanda é representada pela sigla *DAMA* (*Demand Assigned Multiple Access*). Nesta condição, todos os circuitos são disponibilizados para atender a qualquer usuário da rede, sendo realizada a alocação de acordo com a necessidade de cada usuário.

Tanto a técnica *FDMA* como a *TDMA* podem ser utilizadas de forma pré-alocada (fixa) ou por demanda, dependendo apenas da condição de projeto da rede de comunicação. Na *FDMA* é realizada a gerência de alocação de portadoras e bandas enquanto em *TDMA* se realiza a alocação do intervalo de tempo (*time slot*) para transmissão.

3.2. Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência.

O múltiplo acesso por divisão de frequência (*FDMA*) foi o primeiro método para multi acessar o *transponder* via satélite, pois sua concepção, em muito, se aproxima da multiplexação por divisão de frequência empregada em sistemas telefônicos.

3.2.1. FDM-FM-FDMA.

Antes da grande expansão dos enlaces ópticos de longa distância e intercontinentais, os países e continentes eram interligados através de enlaces via satélite que transportavam vários canais telefônicos de forma bidirecional.

¹ Neste caso o termo circuito representa toda a estrutura atrelada a um canal de comunicação que, no satélite, é normalmente abordado como transponder.

Nesta concepção, os canais telefônicos são agrupados através de multiplexação *FDM*, formando uma banda básica que, modulada em frequência, é convertida para a banda de transmissão, ocupando uma dada largura de faixa numa frequência de operação específica.

Para ilustrar esta condição, suponha-se que a estação de Manaus da Figura 3.3, é alocada em apenas uma sub-banda do *transponder* para permitir sua utilização por inúmeras outras estações. Este formato é então adotado por outras estações, permitindo que as mesmas se interliguem, promovendo o tráfego telefônico. A Figura 3.3 ilustra esta condição de múltiplo acesso por divisão de frequência com alocação fixa através de algumas estações.

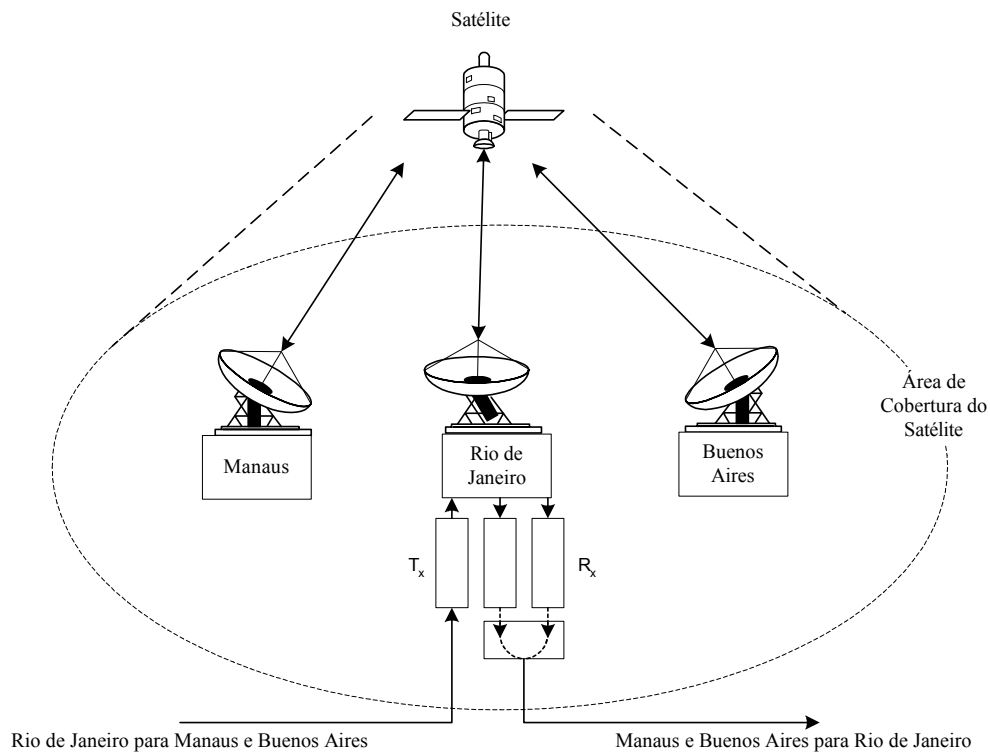
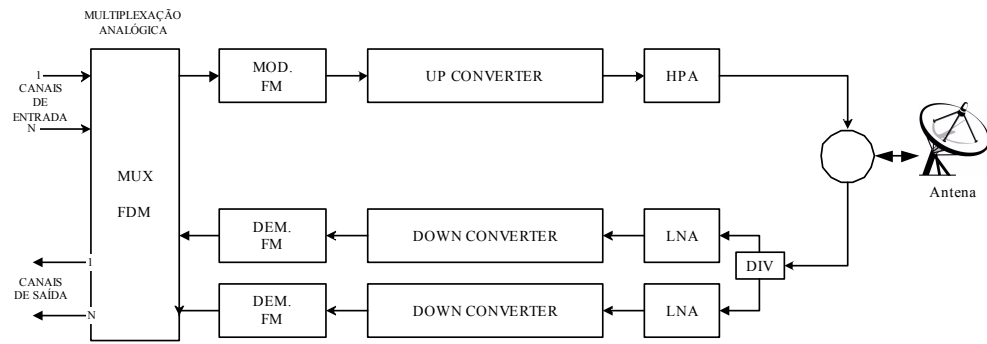
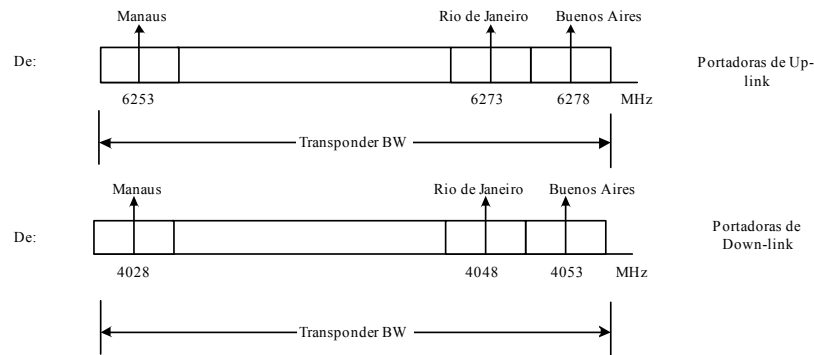


Figura 3.3. Estações transmitindo e recebendo pelo mesmo transponder de satélite usando FDMA com alocação fixa de frequências.

Espectralmente, visualiza-se a sub-banda de cada estação ao longo de todo espectro disponibilizado pelo *transponder* do satélite, para retransmissão dos sinais. O espectro genérico apresentado na Figura 3.4, se repetirá para as condições de *up-link* e *down-link*, nas respectivas frequências de operação de cada satélite.



(a)



(b)

Figura 3.4. (a) Diagrama em blocos de uma estação operando em FDMA; (b) Transponder acessado por diferentes estações de terra, tendo cada uma delas sua sub-banda de trabalho.

Como exemplo, pode-se trabalhar com a transmissão de 60 canais telefônicos que formam um super grupo. Estes 60 canais multiplexados em *FDM* em uma determinada estação são modulados em frequência, ocupando uma banda de 5MHz , incluindo as bandas de guarda. No caso de um *transponder* com 36MHz de banda, pode-se utilizar diversas portadoras alocadas, até completar a banda disponibilizada, caso não exista limitação de potência no enlace.

Normalmente, para se trabalhar com um grande número de portadoras sem que ocorra degeneração dos enlaces, por intermodulação, as estações são obrigadas a oferecer valores altos do fator de mérito que, para a condição abordada no parágrafo anterior, pode variar de 20dB/K a 40dB/K . No Anexo III são apresentados alguns cálculos do fator de mérito para estações de recepção (G/T - Relação entre ganho da antena de recepção e a temperatura de ruído da estação receptora), que permitem

concluir que estes valores se referem a antenas de grande porte. A Figura 3.5 apresenta uma estrutura com estações de médio tráfego, largamente empregada nos antigos sistemas analógicos³.

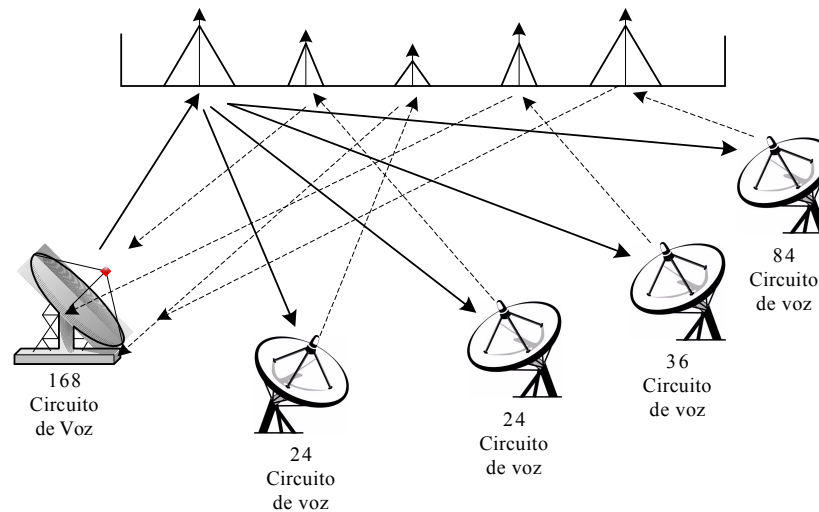


Figura 3.5. Estrutura de médio tráfego com alocação fixa empregando FDMA.

A concepção *FDM/FM/FDMA* foi substituída pela versão digital de multiplexação e modulação, mantendo a forma de acesso *FDMA* inalterada e resultando em uma formação compatível com as redes telefônicas digitais, comuns em nosso dia a dia.

3.2.2. TDM-PSK-FDMA.

Espectralmente, a condição pouco se altera, com exceção da maior imunidade a ruído do sistema digital e a diferença de desempenho entre a modulação *FM* e *PSK*. A Figura 3.6 apresenta a estrutura em blocos de uma estação na concepção *TDM-PSK-FDMA*.

A alocação fixa apresentada nas duas formas anteriores é interessante para estações que possuem altas taxas de transmissão ou elevado tráfego durante todo o tempo de operação.

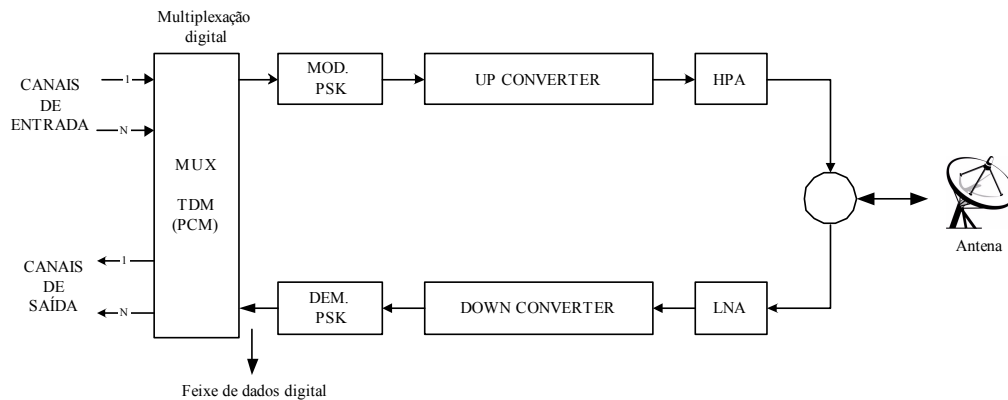


Figura 3.6. Estação com concepção digital TDM/PSK/FDMA.

3.2.3. Transmissão de Sinais de Som e Imagem para TV e Rádio.

Outro tipo de aplicação com alocação fixa é a transmissão de sinais de som e imagem para rádio e *TV* em serviços por assinatura ou para ráiodifusão. Principalmente no mercado brasileiro, as transmissões analógicas dos sinais de rádio e *TV*, são muito comuns, pois a base de recepção instalada em todo território nacional é muito grande, fazendo com que a migração da tecnologia analógica para digital esteja um pouco retardada.

Para transmissão dos sinais de *TV* de forma analógica é utilizada a modulação em frequência (*FM*), com desvio maior ou menor, dependendo da banda que se deseja ocupar no *transponder*. Quando uma única empresa de *TV* utiliza toda banda do *transponder*, a mesma realiza a transmissão da banda básica de *TV*, com desvio de frequência igual ou superior a 25MHz . Esta operação é normalmente chamada de operação com *full transponder*. No entanto, algumas companhias de *TV* compartilham a banda do *transponder* com outros serviços ou até mesmo com uma outra companhia de *TV*. Neste caso, a operação ocorre com bandas reduzidas pela metade, ocupando somente 18MHz e, portanto, denominada de operação *half transponder*. A Figura 3.7 apresenta um diagrama em blocos, clássico, para formação da banda básica de *TV* utilizada em transmissões analógicas via satélite.

Através de um processo de multiplexação, o sinal de vídeo é combinado com os vários sinais de áudio. Como se trabalha com mais de uma sub-portadora de áudio, são transmitidos os sinais de áudio estereofônico e uma segunda opção de língua

da programação. Nas empresas onde não se trabalha com áudio estéreo são transmitidos canais de serviço ou, em muitos casos, outros programas de áudio, como o de rádios comerciais que distribuem o sinal em toda a área de cobertura do satélite, para que o mesmo possa ser utilizado por empresas afiliadas, da mesma forma que em TV³.

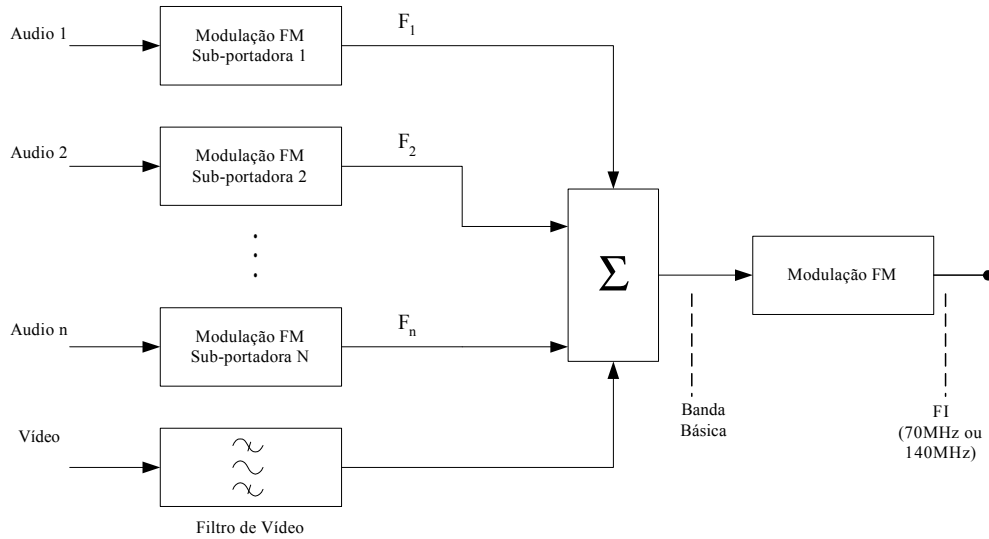


Figura 3.7. Diagrama em blocos da estrutura de transmissão analógica para TV.

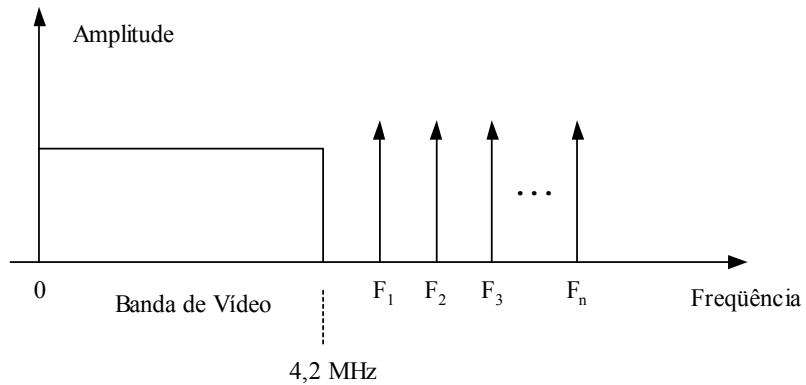


Figura 3.8. Espectro de frequências da banda básica de vídeo para transmissão do sinal de TV via satélite.

A atual literatura admite três diferentes concepções de TV digital via satélite, nos padrões *DVB-S*, *ATSC-S* e *ISDB-S*. O mais empregado atualmente é o *DVB-S*, que trabalha com compressão de vídeo *MPEG-2*, com modulação *QPSK* e com códi-

gos de correção de erro convolucional e Reed-Solomon nas condições interna e externa, respectivamente.

Considerando a necessidade de transmissão com qualidade de difusão, o feixe de bits contendo as informações referentes ao vídeo (*MPEG-2*), canais de áudio (*MPEG-2 MUSICAM*) e dados, irá modular sua respectiva portadora, não ocupando mais do que *6MHz*, o que permite a utilização de até seis portadoras por *transponder*, considerando as bandas de guarda entre cada sub-banda. A Figura 3.9 ilustra o diagrama para geração da portadora modulada em *QPSK* para transmissão do sinal de *TV* na concepção Digital⁴.

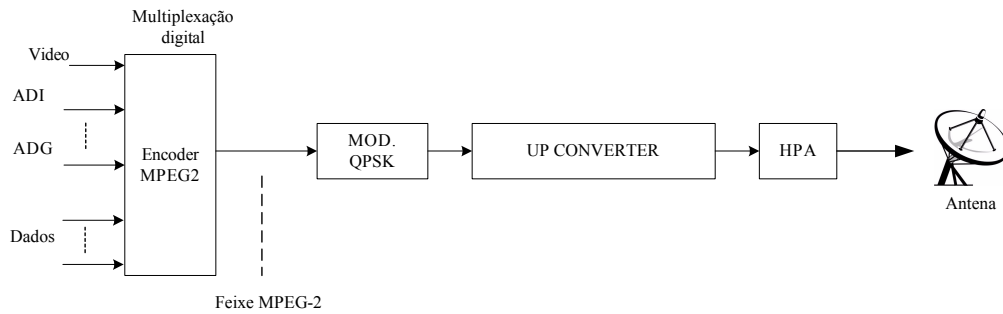


Figura 3.9. Diagrama em blocos da estação de transmissão de TV na concepção digital.

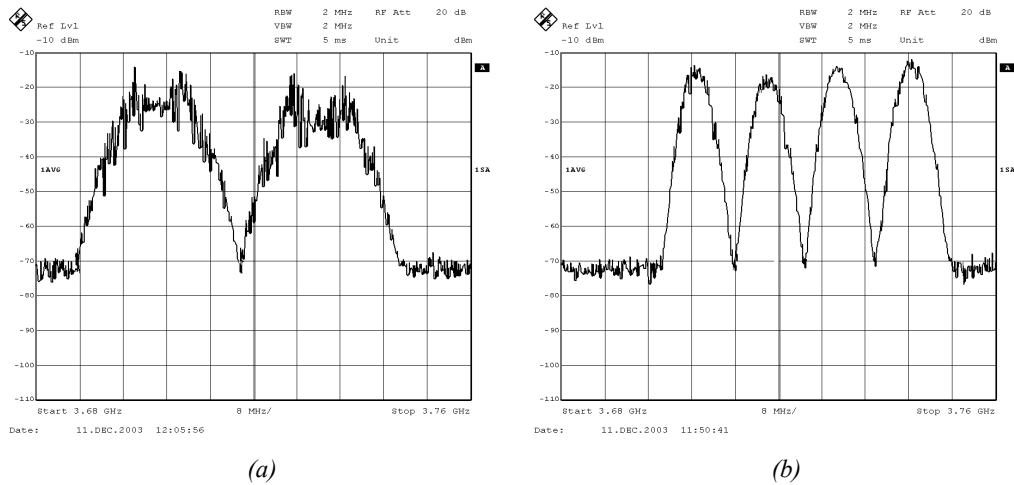


Figura 3.10. (a) Canais analógicos em half transponder; (b) Canais digitais no padrão DVB-S

A taxa de transmissão dependerá da compressão e, conseqüentemente, da qualidade do sinal exigida no ponto de recepção. A maior ou menor compressão é determinada em função de três fatores, sendo estes: qualidade de imagem, disponibili-

dade de banda e custo de alocação. As Figuras 3.10 (a) e (b) apresentam alguns espectros que demonstram a ocupação dos *transponders* com canais analógicos e digitais.

Em todos os casos de arquiteturas *FDMA* apresentados até aqui, uma única portadora é modulada com mais de um canal ou informação. Para esta condição utiliza-se a sigla *MCPC* (*Multiple Channel Per Carrier*), pois uma portadora é modulada por uma banda básica composta de vários canais ou informações¹. Existe também a possibilidade de uma portadora em *FDMA* transportar apenas um canal. Esta condição é representada pela sigla *SCPC* (*Single Channel Per Carrier*)⁵, citada a seguir.

3.2.4. Sistema INTELSAT SCPC.

Para fluxo de informações de voz ou dados em sistemas telefônicos de baixo tráfego por estação, existe o sistema *INTELSAT SCPC*, que opera com 800 canais, tendo cada canal largura de faixa de *45KHz* (incluindo a banda de guarda). As portadoras são moduladas em *QPSK* por um canal de dados digitais ou por um canal de voz com digitalização *PCM*. A Figura 3.11 apresenta a disposição de todos os canais e respectivas portadoras em um *transponder* de *36MHz*.

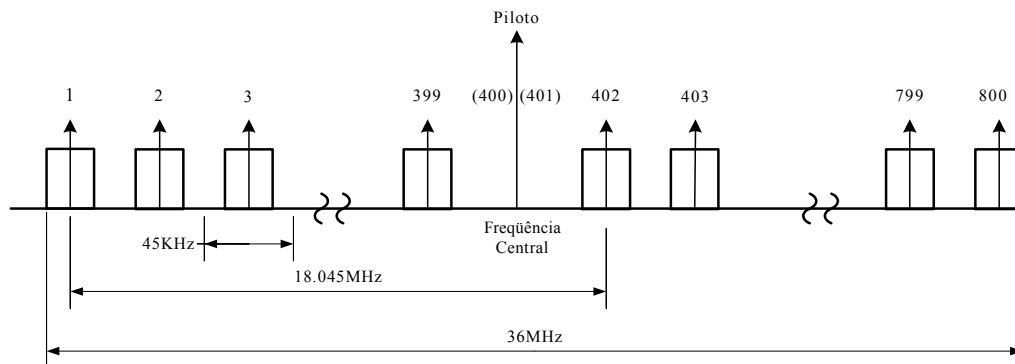


Figura 3.11. Canalização do *INTELSAT SCPC* no *transponder* de *36MHz*.

Além dos canais de informação, é realizada a transmissão de uma frequência piloto que funcionará como referência e permitirá o controle de frequência nas estações terrenas. Os dois canais adjacentes ao piloto de referência são inibidos, no intuito de evitar possíveis interferências. Desta forma, tem-se 798 canais em apenas um

sentido ou 399 circuitos operando de forma *full duplex*. Em operação *duplex* o par de frequências é distanciado de $18,045\text{MHz}^3$.

Uma característica de grande importância no sistema *INTELSAT SCPC* é a ativação dos canais por voz. Através de medidas em um dos sentidos da chamada, verificou-se que, em média, a soma dos tempos de pausa totaliza 60% do tempo total de uma chamada telefônica. Desta forma, o número médio de portadoras que trafegam pelo *transponder* do satélite é sempre bem menor que o máximo admitido, reduzindo de forma significativa o aparecimento de produtos de intermodulação e possibilitando, com isso, a operação com níveis mais elevados de potência.

Como exemplo de aplicação tem-se a *TELESAT CANADA* que utiliza este sistema com 360 circuitos *duplex* utilizando *PSK/SCPC*, para atendimento de localidades remotas com baixo tráfego. O sistema opera com estações terrenas com antenas de diâmetro variando entre $3,6\text{m}$ e $4,6\text{m}$, com relações *G/T* entre $19,5\text{dB/K}$ e 21dB/K .

3.2.5. Sistema de Alocação por Demanda FDMA.

O sistema *SPADE* (*Single carrier per channel Pulse code modulated multiple Access Demand assignment Equipment*) foi desenvolvido pela *COMSAT* para operação em satélites da *INTELSAT* e é compatível com o *INTELSAT SCPC*. No entanto, a alocação de canais ou portadoras é realizada de modo à atender a necessidade de tráfego das estações. A requisição de canais é realizada através do canal comum de sinalização *CSC* (*Common Signaling Channel*). A Figura 3.12, permite a observação do espectro do transponder de 36MHz , com suas respectivas indicações.

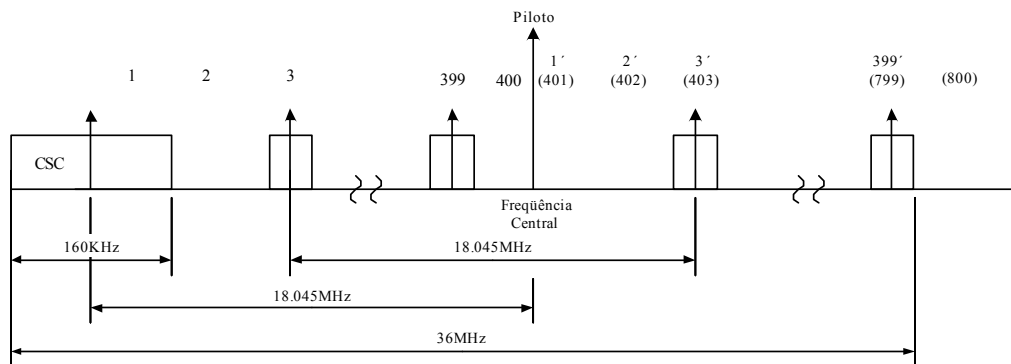


Figura 3.12. Canalização do sistema SPADE.

O primeiro canal da banda é o canal *CSC* com largura de faixa de *160KHz*, taxa de transmissão de *128Kbps* e modulação *BPSK*. O canal *CSC* opera com alocação fixa *TDMA*, no modo *broadcast*. Todas as estações monitoram o canal *CSC* e recebem informações de quais canais já estão alocados. Cada estação terrena possui um *time slot* de *1ms* a cada *frame* de *50ms* para requisitar ou disponibilizar um canal. A estação que estiver necessitando de um canal, consulta seu registro de canais e transmite, através do canal *CSC*, o par de frequências que deseja utilizar. Caso duas estações façam o pedido do mesmo canal, é realizado um rápido remanejamento e, através do *CSC*, é feita a atualização do quadro de frequências de todas as estações que fazem parte da rede. As estações recebem um aviso de colisão na escolha do canal e, então, se mobilizam para a escolha aleatória de outro. Quando a estação finaliza com o canal, é informado através do *CSC* que a frequência está disponível. O canal *CSC* está distanciado de *18,045MHz* da piloto de referência.

Os canais de informação trabalham com largura de faixa de *45KHz*, com taxa de transmissão de *64Kbps* e com modulação *QPSK*. Não são ativados os canais 400 e 401, adjacentes ao piloto de referência, para que não ocorra nenhum tipo de interferência, como é feito no *INTELSAT SCPC*. O canal 400 tem como par o canal 800 que também poderá ser desativado. Pelo mesmo motivo, os canais 1 e 2 também ficam inoperantes, para que não ocorra nenhuma interferência no canal *CSC*.

As observações realizadas no parágrafo anterior permitem contabilizar 794 canais disponíveis para comunicação em apenas um sentido ou 397 circuitos nos dois sentidos (*full duplex*). As frequências que compõem um par de canais estão distanciadas de *18,045MHz*.

No sistema *SPADE* a ativação de cada portadora também é realizada por voz, o que faz o sistema sempre operar com um número menor de portadoras que o máximo disponibilizado, amenizando os efeitos de intermodulação.

A comparação entre o sistema *MCPC* (*FDM-FM-FDMA* ou *TDM-PSK-FDMA*) e o sistema *SPADE* permite tirar conclusões significativas. Num sistema *MCPC* uma determinada estação com canais ociosos não pode disponibilizar esta capacidade para outra estação qualquer, pois a alocação de canais é fixa. O mesmo não ocorre com o

sistema *SPADE*, que opera de forma completamente aberta, disponibilizando por demanda apenas os canais que serão utilizados para cada estação. Desta forma, se uma estação estiver ociosa os canais serão utilizados para outra localidade com maior tráfego telefônico.

Considerando, tanto para o sistema *MCPC* como para o sistema *SPADE*, 1% de probabilidade de bloqueio, um *transponder SPADE* com 800 canais equivalerá a 3200 canais *MCPC*, o que mostra a grande vantagem de uso do sistema *SPADE*.

Para o sistema *SPADE* operar com a maior capacidade possível faz-se necessário a utilização de estações com relações G/T de $40,7\text{dB/K}$, que é um valor muito alto, resultando em antenas de grandes dimensões.

Supondo que o sistema *SPADE* trabalhe com estações de pequeno porte, com relação G/T de 35dB/K , será necessário operar com potências mais elevadas, resultando em níveis mais elevados de intermodulação. Para manter os níveis de intermodulação dentro de escalas aceitáveis é necessário diminuir o número de portadoras. O gráfico da Figura 3.13, demonstra esta redução para *transponders* que utilizam amplificadores do tipo *TWTA*.

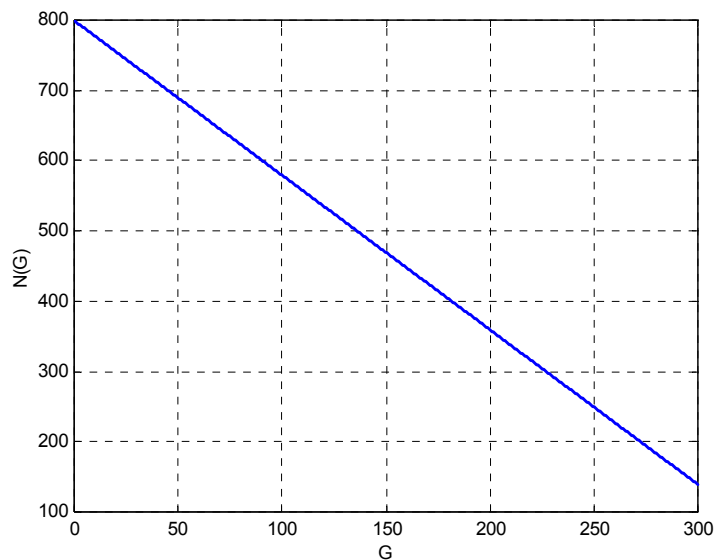


Figura 3.13. $N(G)$: Número máximo de canais admitido por transponder e G : Número de estações com $G/T = 35\text{ dB/K}$.

Se a rede possuir 100 estações de pequeno porte com $G/T=35dB/K$, resultará em apenas 580 estações atendidas no plano geral¹.

A grande desvantagem do *FDMA* é a utilização do transponder com múltiplas portadoras, pois são gerados produtos de intermodulação muito elevados devido a não linearidade dos amplificadores. Em várias aplicações o uso do transponder não é limitado pela largura de faixa e, sim, pela impossibilidade de se trabalhar com níveis mais altos de potência ou pela dificuldade de operação com antenas de grande porte, com elevados valores da relação G/T . A não linearidade dos *transponders* será abordada no Capítulo 4.

3.3. Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo.

Em *TDMA* a alocação de cada estação não é feita através de uma portadora, mas sim com a alocação de um *time slot*, dentro de um quadro (*frame*) de transmissão. Portanto, uma única portadora trafega pelo *transponder*, não ocorrendo a excessiva degeneração por intermodulação, como ocorre em *FDMA*. Esta condição que pode ser visualizada, está expressa na Figura 3.14, que apresenta as estações *A*, *B*, *C* e *D* multi acessando o *transponder* no tempo.

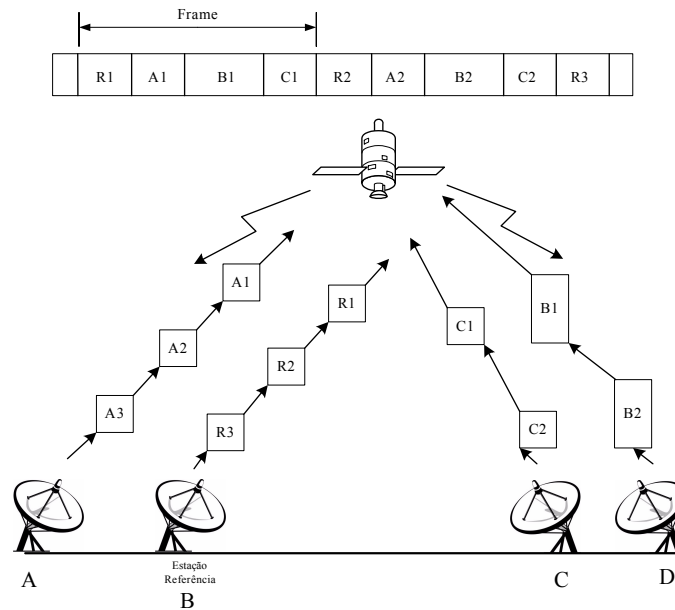


Figura 3.14. Acesso TDMA utilizando uma estação de referência para transmissão do burst de sincronização.

Para permitir o perfeito funcionamento entre as estações, sem que ocorram colisões e, com isso, uma queda significativa da eficiência do sistema, o sistema *TDMA* trabalha com um formato de *frame* e *burst*, como apresentado na Figura 3.15.

A partir desta Figura realizamos uma descrição de cada um dos elementos que compõem o *frame TDMA*. Os principais fatores que integram a janela *TDMA* são:

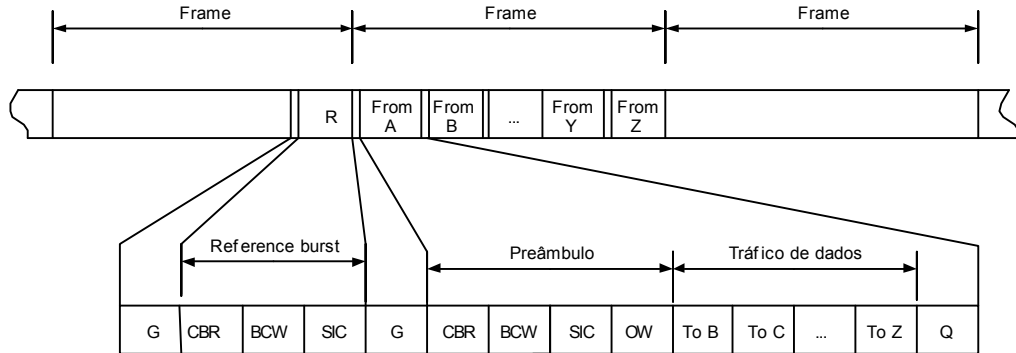


Figura 3.15. Formato do FRAME e do BURST para sistema TDMA.

□ **BURST de REFERÊNCIA.**

Responsável por indicar o início do quadro (*frame*) sendo sub-dividido em *time slots* que são utilizados em várias funções. Para os diferentes tipos de redes do mercado, podem existir diferenças na implementação. No entanto, a função de cada *slot* se mantém a mesma e permite o entendimento do texto.

□ **TEMPO DE GUARDA.**

Da mesma forma que existe a banda de guarda na condição *FDMA*, em *TDMA* existe o tempo de guarda (G), que previne a sobreposição na transmissão das estações.

□ **RECUPERAÇÃO DE PORTADORA E DO RELÓGIO**

Todos os bursts são iniciados com uma seqüência de bits que são utilizados para viabilizar, no receptor, a recuperação da portadora e do relógio (*CBR - CARRIER AND BIT TIMING RECOVERY*). Este processo é realizado para que a demodulação dos dados aconteça com melhores desempenhos. Esta seqüência não pode ser de ta-

manho exagerado e, sim, suficiente para permitir a perfeita interpretação por parte do receptor. O número exagerado de bits nesta seqüência pode causar a queda de eficiência.

□ PALAVRA DE CÓDIGO DE BURST.

A palavra de código de burst (*BCW - Burst Code Word*) é também conhecida como palavra única (*UW - Unique Word*) e tem como principal função indicar ao receptor o início da transmissão de dados da estação de referência, com controle e informação do sistema. Além disso, permite que todas as estações sejam sincronizadas no início de cada quadro, gerando, conseqüentemente, a possibilidade de informação de cada *burst* dentro do *frame*. Nos *bursts* de informação, teremos a mesma função, mas atrelada ao início de cada *burst* e os respectivos *sub-burst*.

□ CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DE ESTAÇÃO

Através desta seqüência de bits é possível identificar a *estação (SIC - STATION IDENTIFICATION CODE)* que está transmitindo e, conseqüentemente, utilizando o meio em um determinado *time slot*. No *time slot* das estações, existe um preâmbulo que se diferencia do canal de *burst* apenas pela presença de um canal de serviço, para comunicação entre estações, na forma de voz ou dados. Após o preâmbulo, existe a transmissão de dados e, para finalizar o *burst*, a estação transmite alguns bits de encerramento (*Q*).

Da mesma forma que no *FDMA*, no *TDMA* o acesso pode ser pré-fixado com os *time slots* definidos por hardware para cada estação que compõe a rede. No entanto, a alocação também pode ser por demanda (*DAMA*), principalmente quando a taxa de transmissão de cada estação é muito variável.

Em grande parte das aplicações um *transponder* não é utilizado por uma única portadora multi-acessada por tempo, mas, sim, com várias portadoras, sendo cada uma delas atrelada a uma rede de voz ou dados. Nesta condição, o primeiro tipo de múltiplo acesso é o por freqüência (*FDMA*) e os demais podem vir a ser *TDMA*. Nes-

te caso, o *TDMA* ocorre em uma sub-banda e é chamado de *TDMA Faixa Estreita (TDMA Narrow Band)* ou *Narrow TDMA*.

Dentro da condição de acesso por divisão de tempo ainda existem as técnicas com processo aleatório, sendo muito empregadas em redes de comunicação por pacotes^{4,6}, como será analisado no item 3.5.

3.4. Comparação das Técnicas FDMA e TDMA

A comparação das técnicas de múltiplo acesso *TDMA* e *FDMA* leva em consideração a capacidade de transmissão e o tempo de atraso na transmissão de mensagem. Este tópico realizará a comparação utilizando as características gerais de cada técnica, em um mesmo ambiente de canal.

É relevante observar que não serão considerados a banda de guarda entre as sub-bandas *FDMA* e o tempo de guarda entre os slots *TDMA*, pois a perda de eficiência provocada por ambos artificios se equivalem. Além disso, para facilitar a análise, ainda será considerado que as estações geram sua mensagens de forma determinística, de modo que o recurso de comunicação é utilizado na sua totalidade.

Na prática, esta comparação direta nem sempre é possível devido às particularidades ligadas à solução de engenharia, de cada empresa do setor. Sendo assim, para ambos os casos funcionará a taxa de transmissão R como sendo a máxima admitida pelo transponder. Além disso, serão considerados M usuários iguais em ambos os casos, para que se permita uma comparação direta.

3.4.1. Capacidade de Transmissão nos Sistemas FDMA.

Em *FDMA*, admitindo as condições impostas anteriormente, tem-se que a largura de faixa total do *transponder* será dividida de forma idêntica para todas as estações que compõem a rede. Desta forma, pode-se concluir que a taxa de transmissão média de cada estação será diretamente proporcional à largura de faixa ocupada pelas mesmas. Sendo assim, quanto maior é o número de estações, menor será a taxa de transmissão média de cada uma delas. Matematicamente, a taxa de transmissão média por estação pode ser obtida pela equação:

$$R_1 = \dots = R_m = \frac{R}{M} \quad (3.1)$$

onde R_1 é a máxima taxa de transmissão média da primeira estação e R_m é a máxima taxa de transmissão média da m -ésima estação da rede.

Se a mensagem gerada em cada estação é formada por pacotes com b bits e o mesmo é transmitido em T segundos, tem-se que a taxa de transmissão total exigida por todo sistema *FDMA* será dada pela equação:

$$R_{FDMA} = M \cdot \frac{b}{T} \quad (3.2)$$

onde R_{FDMA} é a taxa total requerida por todas as M estações do sistema *FDMA* dada em *bps*.

3.4.2. Capacidade de Transmissão nos Sistemas TDMA.

Para análise do sistema *TDMA* serão adotadas as mesmas condições iniciais já propostas anteriormente. Neste caso, cada estação que compõe a rede poderá transmitir com a máxima taxa R admitida pelo *transponder*. No entanto, para que todas as estações realizem suas transmissões, será criado um quadro(*frame*), com um número de *slots* igual ao número M de estações. Desta forma, pode-se concluir que a taxa de transmissão média de cada estação também será calculada pela equação (3.1).

Considerando que em *TDMA* as estações também terão que trabalhar com a transmissão de mensagens divididas em pacotes de b bits, pode-se concluir que estes pacotes deverão ser transmitidos não no tempo total de análise, mas numa fração referente ao *time slot*, que é o tempo T dividido pelo número total de estações M . Por este motivo, a taxa total é calculada como a taxa de cada estação e devidamente representada pela equação:

$$R_{TDMA} = \frac{b}{\left(\frac{T}{M}\right)} = M \cdot \frac{b}{T} \quad (3.3)$$

onde R_{TDMA} é a taxa total requerida por todas as M estações do sistema *TDMA* dada em *bps*.

Comparando a equação (3.2) com a (3.3), conclui-se que os sistemas *FDMA* e *TDMA* requerem a mesma taxa total de bits.

3.4.3. Atraso no envio das mensagens em *FDMA* e *TDMA*.

O atraso sofrido pela mensagem será definido como sendo o intervalo de tempo entre o instante em que se deseja transmitir a mensagem e o instante em que a estação transmissora termina esta transmissão. A equação (3.4) denota esta condição.

$$D = W + \tau \quad (3.4)$$

onde W é o tempo médio que o pacote espera para ser transmitido e τ é o tempo de transmissão do pacote.

Para *TDMA* o pacote é enviado em um *time slot* de duração igual ao tempo T dividido por M estações, como apresentado pela equação:

$$\tau_{TDMA} = \left(\frac{T}{M} \right) \quad (3.5)$$

Comparando a equação (3.5) com a (3.3) resulta na relação:

$$\tau_{TDMA} = \left(\frac{b}{R} \right) \quad (3.6)$$

Se no sistema *TDMA* a estação necessita realizar a transmissão em um instante de tempo que coincida com o instante de início de seu *time slot*, pode-se concluir que o tempo de espera será igual a zero. No entanto, se a estação necessita transmitir um pacote, no instante de tempo em que o seu *time slot* está terminando, o tempo de espera será de $\left[(M-1) \cdot \frac{T}{M} \right]$. Desta forma, o tempo de espera médio para transmissão do pacote será dado pela equação:

$$W_{TDMA} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (m-1) \frac{T}{M} \quad (3.7)$$

O somatório da equação (3.7) é reconhecido como a soma dos termos de uma progressão aritmética, que pode ser re-escrita na forma da equação (3.8)⁷:

$$W_{TDMA} = \frac{T}{2} \left(1 - \frac{1}{M} \right) \quad (3.8)$$

Com as equações (3.5) e (3.8) pode-se obter a equação que representa o atraso médio na transmissão de uma mensagem em *TDMA*, na forma:

$$D_{TDMA} = W_{TDMA} + \tau_{TDMA} = \frac{T}{2} \left(1 - \frac{1}{M} \right) + \left(\frac{T}{M} \right) \quad (3.9)$$

Simplificando esta equação, tem-se:

$$D_{TDMA} = T \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2M} \right) \quad (3.10)$$

Para o sistema *FDMA* o tempo médio de espera do pacote é igual a zero ($W_{FDMA} = 0$), pois a estação sempre possui uma sub-banda a sua disposição. No entanto, o tempo de transmissão do pacote será igual a T ($\tau_{FDMA} = T$). Sendo assim, tem-se que o atraso de transmissão da mensagem no sistema *FDMA* satisfaz:

$$D_{FDMA} = T \quad (3.11)$$

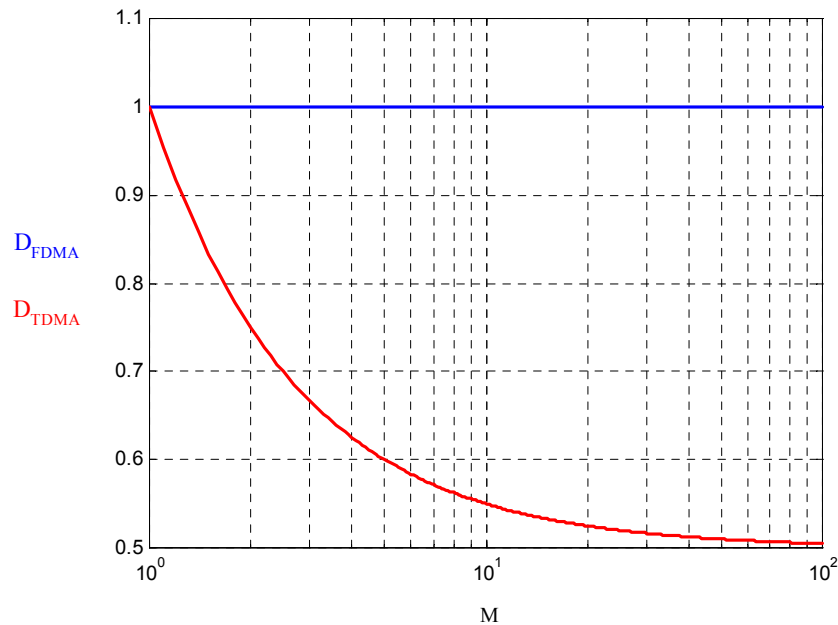


Figura 3.16. Gráfico que apresenta o tempo médio de atraso no envio da mensagem em função do número de estações nos sistemas *FDMA* e *TDMA*, com tempo de frame normalizado.

Comparando as equações (3.10) e (3.11) chega-se à conclusão de que, do ponto de vista de atraso na transmissão da mensagem, o sistema *TDMA* é superior ao *FDMA*, pois o tempo médio de atraso da mensagem em *TDMA* é muito menor que em *FDMA*. O gráfico da Figura 3.16, mostra que, quanto maior o número de estações, maior é a superioridade do *TDMA* em relação ao *FDMA* neste quesito.

3.5. Técnicas de Múltiplo Acesso Empregando Algoritmos com Processo Aleatório.

3.5.1. ALOHA

A técnica ALOHA foi desenvolvida em 1971 na Universidade do Hawaii, na concepção via satélite, para interligar os vários computadores da universidade em rede. A forma como o sistema opera é muito simples e pode ser analisada através de um roteiro de operação, que pode ser descrito em quatro etapas a saber:

□ Modo de Transmissão.

A transmissão de um determinado usuário é realizada de forma totalmente independente, podendo ser iniciada em qualquer instante, bastando apenas que exista a necessidade. Normalmente, o sistema trabalha com um código corretor de erro, para aumento do desempenho.

□ Modo de Escuta.

A estação, ao terminar sua transmissão, entra em modo de escuta, para receber uma mensagem de confirmação da estação destino. A mensagem de *ACK* (*Acknowledge*) é transmitida da estação destino para todas as estações que compõem a rede, incluindo a própria estação que a transmitiu, fazendo com que exista uma confirmação que garanta o sucesso de seu recebimento.

A estação que originou a informação transmitida pode receber da estação destino uma mensagem de não recebimento *NAK* (*No Acknowledge*). Isto ocorre quando a estação destino recebe o sinal, mas não consegue decodificá-lo. A maior causa des-

te problema é a colisão, dada pela transmissão simultânea de duas ou mais estações na rede.

□ **Modo de Retransmissão.**

Quando a estação que originou a transmissão recebe da estação destino uma mensagem de *NAK*, ocorre a retransmissão da mensagem de dados dentro de um intervalo de tempo obtido de forma aleatória, para que não ocorra uma nova colisão, pois a outra estação envolvida também trabalhará na retransmissão das informações.

□ **Modo *Time-Out*.**

Após a transmissão do sinal, a estação que a originou deve receber uma mensagem de *ACK* ou *NAK*. No entanto, pode ocorrer, por diferentes causas, o não recebimento destes sinais. Neste caso, a estação realiza a retransmissão da mensagem após um determinado tempo de espera, conhecido como *Time-Out*.

A técnica de múltiplo acesso com processo aleatório utilizando o algoritmo *ALOHA* pode ser representada através do fluxograma algoritmo na Figura 3.17.

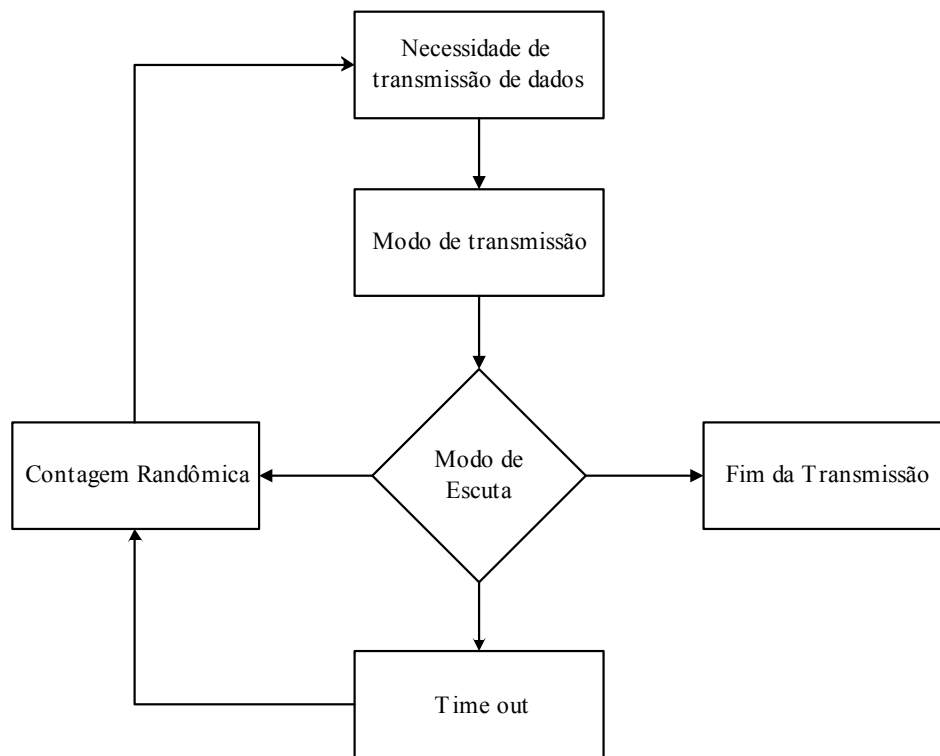


Figura 3.17. Algoritmo da técnica de acesso ALOHA

Esta técnica tem como grande vantagem a simplicidade do protocolo de operação, mas, em contrapartida, será bastante afetada pela colisão entre estações, oferecendo períodos de vulnerabilidade elevados, como pode ser visualizado na Figura 3.18⁸.

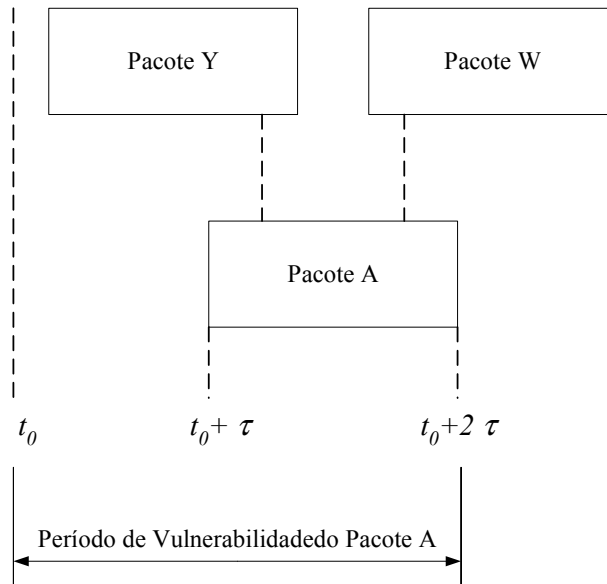


Figura 3.18. Análise no tempo do período de vulnerabilidade da técnica ALOHA.

Graficamente, é possível notar que o período de vulnerabilidade é grande. Para solucionar este problema foi criada a técnica *S-ALOHA* (*Slotted ALOHA* - ALOHA Segmentado), que mantém quase todas as características do *ALOHA*, com exceção de uma delas.

Na técnica *S-ALOHA* é adicionada uma pequena gerência ao sistema. O canal é dividido em vários *time slots* e uma das estações se responsabiliza em sincronizar as demais, informando o início e término de cada *time slot*. Desta forma, uma determinada estação pode transmitir a qualquer momento, desde que o início da transmissão seja sincronizado com o início de um novo *time slot*. Esta alteração na *ALOHA*, proporciona um ganho considerável de eficiência, pois elimina a possibilidade de colisão do início de uma transmissão com o final da outra antecedente. A figura 3.19. ilustra a nova condição de operação. Esta mostra que a técnica obriga a ocorrência de colisões somente de forma completa, viabilizando a utilização em sistemas de tráfego

mais elevado, se comparada ao caso anterior, que tem o período de vulnerabilidade duas vezes maior.

Com a técnica *S-ALOHA* já se obteve uma grande melhoria, pois o tempo de vulnerabilidade se reduz à metade. No entanto, existe a possibilidade de se minimizar ainda mais o efeito da colisão, através de uma prévia reserva do meio de comunicação, como é proposto pela técnica *R-ALOHA* (*Reservation ALOHA - ALOHA com Reserva*).

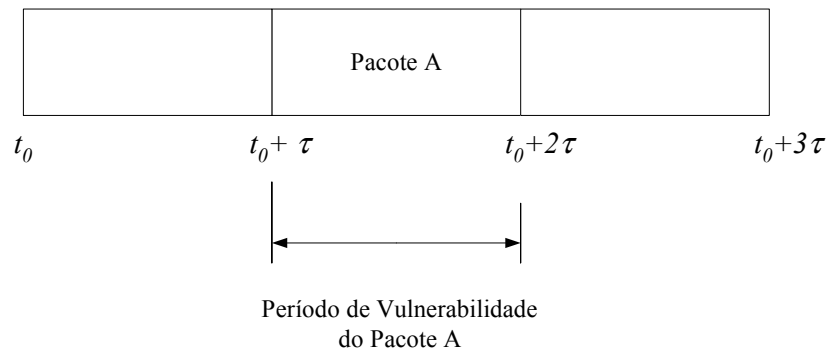


Figura 3.19. Análise no tempo do período de vulnerabilidade da técnica *S-ALOHA*.

O sistema *R-ALORA* oferece dois modos básicos de operação, sendo um deles denominado *não reservado* e o outro *reservado*.

- **Operação no modo não reservado (Estado Quiescente).**
 - Nesta condição, é estabelecido um quadro que é dividido em um número grande de pequenos intervalos para reserva;
 - As estações utilizam estes pequenos *slots* para reservar um de maior duração para transmissão de dados ou mensagens.
 - Depois de realizada a reserva, o usuário recebe consentimento (mensagem *ACK*) acompanhada da informação de qual *slot* de dados poderá ser utilizado.
- **Operação no modo reservado.**
 - Um quadro de tempo é dividido em $M+1$ *slots* quando é realizada uma reserva;
 - Os primeiros M *slots* são empregados para transmissão de mensagens;

- O último *slot* é subdividido em *sub-slots*, que serão utilizados para que as outras estações possam realizar a reserva de dados, mantendo toda a rede em operação;
- As estações transmitem seus pacotes de dados somente nos *slots* permitidos pela estação de controle, ou seja, apenas em alguns M *slots* existentes por quadro.

O exemplo de *R-ALOHA* apresentado na Figura 3.20 é bastante interessante, pois permite verificar que, no estado quiescente, o tempo é dividido em pequenos *sub-slots* para que as estações reservem o meio para transmissão. Uma vez realizada a reserva por uma estação qualquer, o sistema é configurado para que o quadro seja composto por M *slots* para transmissão de dados e V *sub-slots* para reserva do meio. Neste exemplo, considerou-se $M=5$ e $V=6$. É importante notar que ocorre uma alteração no formato de temporização^{1,9,10}.

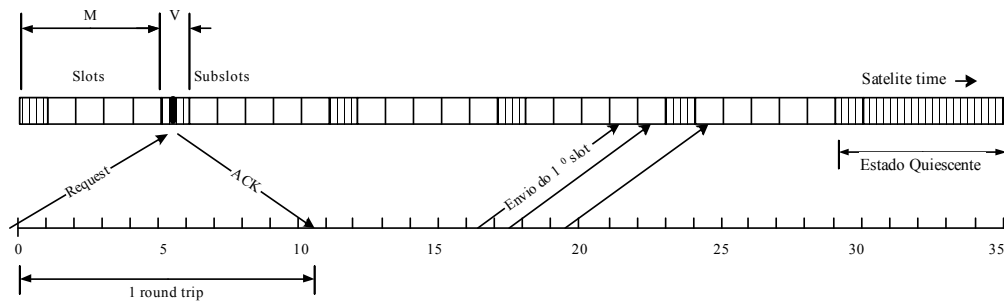


Figura 3.20. Exemplo de um sistema operando com *R-ALOHA*.
Estação requisitando 3 slots numa estrutura com $M=5$ e $V=6$.

Neste exemplo, uma dada estação reserva três slots para transmissão de dados e recebe da estação de controle o consentimento acompanhado da informação de qual será o primeiro *slot* de que fará uso. Como o controle é distribuído, todos os receptores que fazem parte da rede são informados da reserva e da temporização, evitando, com isso, a colisão, durante o intervalo de transmissão dos dados.

A estação de controle não precisa transmitir nenhuma informação a mais do que a posição do primeiro pacote de dados, pois, na Figura 3.19, é possível notar que a estação que recebeu a permissão para utilização de três *slots*, iniciou sua transmissão no quarto *slot* do bloco com $M=5$, utilizando o quinto slot para transmissão do seu

segundo bloco de dados. Naquilo que seria o seu terceiro e último *slot*, ocorrerá os seis *sub-slots* de dados ($V=6$). Portanto, este tempo será respeitado pela estação requisitante e o seu terceiro e último pacote será transmitido no primeiro *slot* do quadro sub-seqüente.

Depois de um determinado tempo sem a utilização do meio para transmissão de dados, o sistema retorna ao seu formato em repouso, com a presença somente de *sub-slots*. Como o controle é distribuído, todos os participantes são informados do formato quiescente por pacotes de sincronismo no *down-link*.

A única possibilidade de colisão no *R-ALOHA* é durante os *sub-slots* de reserva, que são muito pequenos. Com isso, o tempo desperdiçado na colisão é bastante reduzido, aumentando a vazão do sistema.

As técnicas *S-ALOHA* e *R-ALOHA* não podem ser confundidas com a *TDMA*, pois os *slots* podem ser utilizados por qualquer estação, não obedecendo à ordem nem prioridades. Outro fator importante reside no fato que em *TDMA* não existe colisão.

Existem várias outras técnicas de grande utilidade em sistemas via satélite, que podem ser estudadas nas referências ^{8 e 9}.

3.6. Desempenho das Técnicas de Múltiplo Acesso Empregando Algoritmos com Processo Aleatório.

Este tópico tem a intenção de comparar o desempenho das técnicas *ALOHA*, *S-ALOHA* e *R-ALOHA*.

Em uma rede a taxa total de tráfego (λ_t) é composta pela taxa total (λ) dos pacotes transmitidos com sucesso e a taxa (λ_r) obtida em função dos pacotes rejeitados (λ_r), como proposto pela equação (3.12). Sendo assim, as técnicas serão analisadas em função da taxa média de pacotes transmitidos com sucesso, comparada com a taxa média total de pacotes transmitidos.

$$\lambda_t = \lambda + \lambda_r \quad (3.12)$$

Considerando que cada pacote possui um determinado número de bits (b), é possível obter o valor médio do tráfego do canal com sucesso em bits, por segundo, como demonstrado na equação (3.13).

$$\rho_1 = b \cdot \lambda \quad (3.13)$$

onde ρ_1 é a vazão do canal (*throughput*) ou ainda o valor médio do tráfego com sucesso. Na equação (3.14), é seguida a mesma linha de raciocínio para determinação do tráfego total (G):

$$G = b \cdot \lambda_t \quad (3.14)$$

Com a máxima taxa de transmissão do canal (R), determinam-se os valores normalizados da vazão do canal (ρ) e do tráfego total (G), como apresentado nas equações (3.15) e (3.16):

$$\rho = \frac{b \cdot \lambda}{R} \quad (3.15)$$

$$G = \frac{b \cdot \lambda_t}{R} \quad (3.16)$$

Os valores normalizados da vazão do canal (*throughput*) poderão variar de zero a um ($0 \leq \rho \leq 1$), enquanto os valores normalizados do tráfego total poderão ser maiores que a unidade ($0 \leq G \leq \infty$).

O tempo de transmissão de cada pacote (τ) dependerá da taxa de transmissão máxima do canal e do número de bits de cada pacote. Esta grandeza será medida em segundos por pacote, como demonstrado na equação (3.17).

$$\tau = \frac{b}{R} \quad (3.17)$$

Trabalhando algebricamente, pode-se rescrever as equações (3.15) e (3.16) em função da equação (3.17), como apresentado nas equações (3.18) e (3.19).

$$\rho = \lambda \cdot \tau \quad (3.18)$$

$$G = \lambda_t \cdot \tau \quad (3.19)$$

Analisando a Figura 3.18 conclui-se que uma estação tem sucesso completo em sua transmissão, se, ao iniciar o envio de seus dados, nenhum outro usuário esteja transmitindo pelo mesmo meio e ainda deve contar com que nenhum outro usuário, inicie uma transmissão dentro dos (τ) segundos previstos para a transmissão de um pacote. Portanto, é necessário um intervalo de tempo de (2τ) para garantia de sucesso da transmissão do pacote.

A distribuição de probabilidade que melhor representa o envio de mensagens por usuários não relacionados em um sistema de comunicação é a de Poisson. A probabilidade de se ter (K) novas mensagens no intervalo de tempo de (τ) segundos é dada pela distribuição de Poisson como apresentado na equação (3.20);

$$P(K) = \frac{(\lambda \cdot \tau)^K \cdot e^{-(\lambda \cdot \tau)}}{K!} \quad K \geq 0 \quad (3.20)$$

onde (λ) é a taxa média de mensagem.

Como os usuários transmitem sem nenhuma consulta aos demais usuários do sistema *ALOHA*, a equação (3.20) deve calcular a probabilidade $(K=0)$ durante o intervalo (2τ) , para que seja garantido o sucesso na transmissão de um pacote de dados. Assumindo que todo tráfego possa ser representado pela distribuição de Poisson, será considerado para equação (3.20), que a taxa média de mensagem seja (λ_t) e que o tempo de vulnerabilidade é (2τ) sendo assim, chega-se à equação (3.21).

$$P_s = P(K=0) = \frac{(2\tau \cdot \lambda_t)^0 \cdot e^{-(2\tau \cdot \lambda_t)}}{0!} = e^{-(2\tau \cdot \lambda_t)} \quad (3.21)$$

A probabilidade P_s pode ser traduzida como a probabilidade de ocorrência de sucesso na transmissão. Esta probabilidade também pode ser calculada através da equação (3.12), pois basta relacionar a taxa média de pacotes transmitidos com sucesso (λ) com a taxa média de pacotes totais transmitidos (λ_t) .

$$P_s = \frac{\lambda}{\lambda_t} \quad (3.22)$$

Trabalhando com as equações (3.21) e (3.22), obtém-se a equação (3.23).

$$\lambda = \lambda_i \cdot e^{-(2 \cdot \tau \cdot \lambda_i)} \quad (3.23)$$

Substituindo a equação (3.23) em (3.18) e (3.19), tem-se:

$$\rho = G \cdot e^{-2G} \quad (3.24)$$

A equação (3.24) relaciona o valor normalizado de vazão do canal (ρ) com o tráfego total normalizado (G) na técnica *ALOHA*. Para a técnica *S-ALOHA* é possível, da Figura 3.19, visualizar que o período de vulnerabilidade se reduz a (τ) segundos. Se for realizado o mesmo equacionamento para o *S-ALOHA*, considerando a diferença no tempo de vulnerabilidade, chega-se à conclusão de que o valor normalizado de vazão do canal será dado pela equação (3.25).

$$\rho = G \cdot e^{-G} \quad (3.25)$$

A Figura 3.21 permite visualizar os máximos valores normalizados de vazão das técnicas *ALOHA* e *S-ALOHA* que são de 0,184 e 0,368, respectivamente.

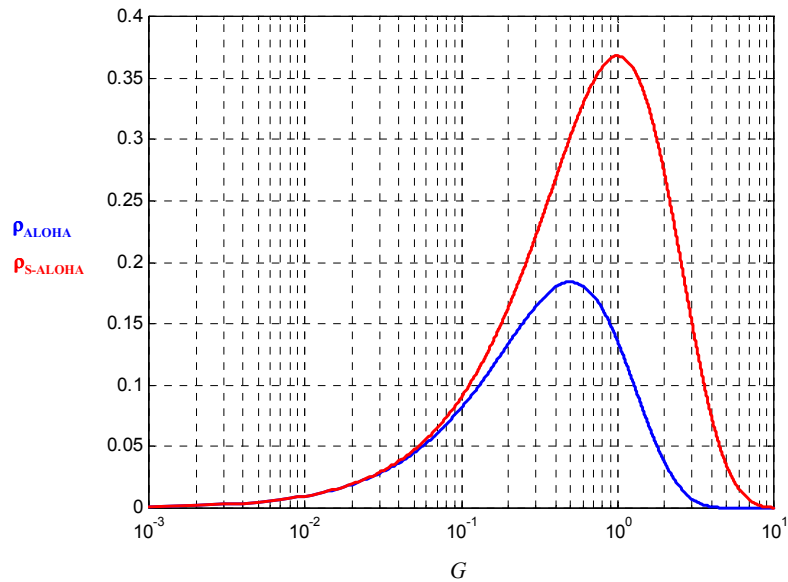


Figura 3.21. Vazão dos canais nas técnicas *ALOHA* e *S-ALOHA*

A comparação entre as técnicas *ALOHA*, *S-ALOHA* e *R-ALOHA* realizada na Tabela 3.1, permite concluir que a eficiência de transmissão assume valores máximos

aproximados de 18%, 37% e 67%, respectivamente. Estes valores são baixos, mas a sofisticação da técnica *ALOHA* pura, permitiu que a vazão do canal aumentasse consideravelmente.

Tabela 3.1. *Resumo da vazão da técnica ALOHA e suas derivações.*

Técnica	Vazão Normalizada	Vazão (%)
<i>ALOHA</i>	$\rho = 0,184$	$\rho = 18,4$
<i>S-ALOHA</i>	$\rho = 0,368$	$\rho = 36,8$
<i>R-ALOHA</i>	$\rho = 0,670$	$\rho = 67,0$

3.7. Conclusão.

As técnicas de múltiplo acesso com alocação fixa são adequadas para redes com menos do que 10 estações, com cada uma das estações oferecendo tráfego de dados estável e previsível, como é o caso de tráfego telefônico e sinais de *TV* digital pelo satélite. Neste caso, a técnica que se destaca é a *TDMA*, pois oferece menor atraso na transferência dos pacotes e não opera com várias portadoras, simultaneamente, evitando o problema de degeneração por intermodulação e possibilitando a operação com valores mais elevados de potência, o que diminui a taxa de erro do enlace⁷.

As redes, utilizando a técnica de *polling* (envio de mensagens de forma sequencial estação por estação, segundo uma ordem definida)⁷ não se aplicam para redes *VSAT*, pois o tempo de atraso na propagação dos sinais é muito grande, fazendo com que o tempo necessário para varrer todas as estações seja muito elevado, inviabilizando o processo. O tempo de atraso na propagação também é o que impede a utilização das técnicas que utilizam protocolos de passagem de ficha.

As técnicas de acesso da família *CSMA* possuem desempenho inversamente proporcional ao tempo de propagação na rede. Como numa rede *VSAT* o tempo de propagação é muito maior que o tempo de duração de um pacote, estes protocolos também são inviáveis.

Por este motivo, para grandes redes de comunicação via satélite, o mais indicado é a utilização de redes híbridas do tipo *DAMA* com *TDMA* ou com protocolos de contenção do tipo *ALOHA*, *S-ALOHA*, *R-ALOHA* e outros.

Embora tenham sido abordados apenas os principais protocolos, existem vários outros propostos. Pesquisadores ligados ao mercado de comunicação via satélite, de uso corporativo com estações *VSAT*, desenvolveram outras propostas, como, por exemplo: *BRAM* (*Broadcast Recognition Access Method*), *PDAMA* (*Packet-Demand Assignment Multiple Access*) e outros.

As técnicas *DAMA* oferecem maiores valores de vazão máxima, quando operam com pacotes de reserva muito menores que o de dados. Este tipo de solução é mais complexa e apresenta um atraso mínimo de transferência de pacotes igual a duas vezes o tempo de propagação da rede, mesmo que o tráfego seja muito baixo⁷.

Referências Bibliográficas

- ¹ Sklar, Bernard. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. 2nd Ed. Prentice Hall, Inc. 2000.
- ² Maral, G.; Bousquet, M.. *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. 4th Ed.. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- ³ Roddy, Dennis. *Satellite Communications*. 3rd Ed.. Mc Graw-Hill, 2001.
- ⁴ Elbert, Bruce R. *The satellite communication applications handbook*. Artech House, Inc., 1997.
- ⁵ Gordon, Gary D. and Morgam, Walter L.; *Principles of Communications Satellite*; John Wiley & Sons, 1st edition (July 22, 1993).
- ⁶ Elbert, Bruce R. *Introduction to Satellite Communication*. 2nd Ed. Artech House, Inc., 1999.
- ⁷ Brito, J. M. C. *Múltiplo Acesso em Redes de Telecomunicações*. Dissertação de mestrado submetida à Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 1998.
- ⁸ Ha, Tri Ti . *Digital Satellite Communications*. Macmillan Publishing Comp., 1986.
- ⁹ Roberts, L. *Dynamic Allocation of Satellite Capacity through Packet Reservation*. AFIPS Conf. Proc, vol. 42, june 1973, p. 711.
- ¹⁰ Binder, R. *A Dynamic Packet Switching System for Satellite Broadcast Channels*. Proc. Int. Conf. Commun, June 1975, pp. 41-1 - 41-5.