



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE ESTÁGIOS E PROJETOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TÍTULO

Estudo da Transmissão do Canal de Retorno
da TV Digital via Satélite

APRESENTAÇÃO

Alessandro Glauber da Silva Evangelista

EMPRESA

IECOM – Instituto de Estudos Avançados de Comunicações

ORIENTADOR

Marcelo Sampaio de Alencar

Campina Grande – Paraíba
Outubro de 2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de estudar e escrever sobre algo tão importante que trouxe e hoje continua trazendo tantos benefícios à humanidade, também à minha família que me deu um total apoio moral e financeiro na busca de meus objetivos como estudante e homem, a todos os meus amigos que me incentivaram cada vez mais para meu progresso e desenvolvimento pessoal e profissional, ao Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (IECOM), representado pela pessoa do professor Marcelo Sampaio de Alencar que me deu a oportunidade única de estudar um assunto tão vasto e interessante além do apoio e atenção que me foi demonstrada pela sua pessoa, ao aluno de mestrado Fabrício Braga, pela atenção, amizade e ajuda no desenvolvimento deste documento e a todos os que contribuíram de forma direta ou indireta para que o presente trabalho alcançasse sua plena conclusão e posterior contribuição educativa.

Sumário

Abreviaturas e Simbologia	4
Resumo	6
1. O Canal Interativo da TV Digital	7
1.1. Serviços Interativos.....	7
1.2. O Padrão Europeu de TV Digital.....	8
2. Modelos de Referência para o Sistema DVB-RCS	9
2.1. Modelo de Camadas de Protocolos.....	9
2.2. Modelo do Sistema de Serviços Interativos.....	11
2.3. Modelo da Rede de Interação via Satélite.....	15
3. Sistema de Satélites em DVB	19
3.1. Transponders de Satélites.....	19
3.2. As Estações Terrestres.....	21
3.3. Codificação.....	24
3.4. Esquemas de Modulação.....	25
3.5. Taxa de Bit e Taxa de símbolo.....	27
3.6. Acesso ao Sistema de Satélites.....	29
3.7. Links de Transmissão.....	31
4. Arquitetura Básica do Sistema DVB-RCS	33
4.1. Faixas de Operação.....	34
4.2. Direção das Comunicações.....	35
4.3. Sinais de Sinalização e Controle.....	38
4.4. Aspectos de Segurança.....	40
5. Avaliação e Adaptação ao SBTVD	42
5.1. Analisando a realidade brasileira.....	42
5.2. Análise de aspectos.....	50
5.2.1. Aspectos técnicos.....	50
5.2.2. Outros aspectos.....	52
6. Conclusões	53
7. Sugestões para trabalhos posteriores	53
8. Referências Bibliográficas	54

Abreviaturas e Simbologia

Aqui se encontram as abreviaturas, em ordem alfabética, e simbologias utilizadas neste documento, além de seus respectivos significados.

ACQ – Acquisition Burst
Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações
ARQ – Automatic Repeat Request
ATM – Asynchronous Transfer Mode
ATSC – Advanced Television Systems Committee (Padrão americano de TV digital)
BER – Bit Error Rate
CEI - Confederação dos Estados Independentes
CRC – Cyclic Redundancy Check
CSC – Common Signalling Channel
DSM-CC – Digital Storage Media - Command and Control
DVB – Digital Video Broadcasting (Padrão europeu de TV digital)
DVB-NIP - Digital Video Broadcasting – Network Independent Protocol
DVB-RCS - Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite
DVB-S - Digital Video Broadcasting – Satellite
EIRP – Effective Isotropically Radiated Power
FDMA – Frequency Division Multiple Access
FEC – Forward error Correction
FI – Frequência Intermediária
FSK – Frequency Shift Keying
GPS – Global Positioning System
HDTV – High Definition Television
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística
IDU – Indoor Unit
IETF – Internet Engineering Task Force
IP – Internet Protocol
IPFD – Input Power Flux Density
ISDB - Integrated Services Digital Broadcasting (Padrão japonês de TV digital)
ITU – International Telecommunication Union
MAC – Media Access Control
MCPC – Multiple Channels Per Carrier
MF-TDMA – Multiframe – Time Division Multiple Access
MPEG – Motion Pictures Experts Group
MPEG-2 – TS - Motion Pictures Experts Group – Transmission Sections
NCC – Network Control Centre
ODU – Outdoor Unit
PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
PPP – Point-to-Point Protocol
PSK – Phase Shift Keying
QPSK – Quadrature Phase Shift Keying
RCST – Return Channel Satellite Terminal
RF – Radiofrequency
SAC – Service Access Control
SBTVD – Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SCPC – Single Channel Per Carrier

SNMP – Simplified Network Management Protocol

SYNC – Synchronisation Burst

TCP – Transmission Control Protocol

TCT – Timeslot Comparison Table

TDM – Time Division Multiplex

TDMA – Time Division Multiple Access

TRF – Traffic Burst

UDP – User Datagram Protocol

VSAT – Very Small Aperture Terminal

E_b - Energia por bit

N_o - Potência do ruído

C - Capacidade do Canal.

B - Largura de faixa do sinal.

P - Potência do sinal recebido.

N_0 - Densidade espectral de potência do ruído lateral único.

I_b - Taxa de bit (antes do FEC).

I'_b - Taxa de bit transmitida (após o FEC).

RESUMO

Atualmente, no cenário mundial, a busca por qualidade e diversidade de informações tem se mostrado cada vez mais intensa. Para permitir uma maior satisfação das pessoas, empresas, instituições, dentre outros, os meios de comunicações tiveram que superar seus próprios limites.

Estes limites iniciais foram, até certo ponto, superados pela *digitalização* da informação que hoje permite a inúmeras pessoas, em diferentes regiões do planeta, acessarem um vasto conteúdo informativo, realizar operações bancárias, compras ou, até mesmo, fazerem cursos à distância.

Todas essas operações foram proporcionadas pelo desenvolvimento de redes de computadores como a Internet, além de outros sistemas.

Apesar do uso da Internet ser intenso, a comparação entre o uso do computador e da televisão está longe de atingir patamares iguais. Considerando essa realidade mundial, pesquisadores, cientistas e engenheiros de todo o mundo despertaram para a transformação do sistema de TV analógico convencional, em um sistema muito mais robusto, com qualidade e diferentes opções de programação, proporcionando ao telespectador uma nova idéia de televisão por meio da digitalização dos sinais de TV, nascendo assim a TV Digital.

Existem atualmente três padrões de sistema de TV Digital em aferição, são eles: DVB (padrão europeu), ATSC (padrão americano) e o ISDB (padrão japonês). O Brasil, considerando a possibilidade do desenvolvimento de seu próprio sistema de TV Digital, que fosse acessível a grande parte da população brasileira e que trouxesse benefícios de ordem econômica e social, resolveu dar início a uma avaliação de padrões existentes com vistas a um possível desenvolvimento e implantação do SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisão Digital).

O presente trabalho tem como principal finalidade, o estudo de um dos canais estabelecidos em um sistema de TV digital, o *canal de interatividade*.

Aqui serão estudados o funcionamento e características do sistema europeu de TV digital com o canal de interatividade via satélite (DVB-RCS), além da avaliação da possibilidade de adoção total ou parcial de sua arquitetura quando do desenvolvimento e implantação do SBTVD.

1. O Canal Interativo da TV Digital

Até alguns anos atrás, quando ainda não se pensava em transmissão e recepção de imagens e sons digitais, o canal de transmissão era utilizado para levar as informações em um único sentido, ou seja, da emissora ou provedor de serviços de TV até o usuário ou telespectador. Com a introdução da tecnologia digital em sistemas de transmissão, os sinais de áudio e vídeo passaram a ser transmitidos, recebidos e processados como uma sequência de números binários devidamente codificados. Assim, uma nova idéia de telespectador surgiu. Este último deixou de ser inoperante, e passou a “interagir” diretamente com a emissora na busca de serviços e informações que lhe fossem úteis, por intermédio de um “Canal de Interatividade”.

Para que essa *interatividade* fosse alcançada, esse novo canal foi adicionado como canal de retorno entre o telespectador e o provedor de serviços da TV digital, a fim de permitir que os dados trafegassem no sentido Telespectador - Provedor de Serviços.

1.1 Serviços Interativos

Quando se fala em serviços interativos, deve-se ter em mente que a interatividade pode se desmembrar em vários níveis, isto é, a requisição dos serviços por parte do usuário ou telespectador, pode exigir do sistema uma robustez maior quanto à capacidade de transmissão de dados por meio do canal interativo ou canal de retorno.

Numa forma mais básica de interatividade chamada *interatividade local*, os dados solicitados pelo telespectador, são alojados em seu terminal de acesso. Isso faz com que a rede não seja ocupada a cada requisição de serviço realizada.

O que se espera de um canal de interatividade é que este proporcione ao usuário ou telespectador uma ação direta sobre o sistema de transmissão com uma comunicação interativa. Para que isto aconteça, o *provedor de serviços interativos* deverá estar sempre atento às solicitações feitas pelo usuário do sistema.

Como um exemplo, suponha que em um programa de TV, ao usuário seja dada a possibilidade de votar em um determinado candidato em uma competição qualquer. Nesse caso observa-se que a operação de votação é algo simples e requer um canal com banda estreita, no sentido Telespectador - Provedor de Serviços. A mesma necessidade por um canal de retorno com banda estreita, ocorre quando o usuário envia um dado para o sistema e espera algum tipo de confirmação de recebimento, neste caso a comunicação é estabelecida no sentido Provedor de Serviços – Telespectador.

O canal de transmissão do sinal digital de TV, não é normalmente utilizado para a transmissão de dados pertencentes a um usuário particular no sentido Provedor de Serviços – Telespectador, pelo fato de que para este provedor de serviços (que no caso é o de transmissão do fluxo de mídia MPEG-2) os telespectadores não são, na maioria das vezes, individualmente endereçados, logo, percebe-se a necessidade de criação de um canal de interatividade que permita o endereçamento individual e freqüente de cada usuário do sistema de TV digital. Apesar disso, o sinal digital de TV em formato MPEG-2 poderá conter dados relativos às configurações que se fazem necessárias ao funcionamento otimizado do sistema. Estes dados estarão contidos nas chamadas *seções privadas DVB/MPEG-2* como veremos mais adiante.

Um nível mais elevado de interatividade é alcançado quando a informação enviada ou recebida pelo usuário é mais complexa, necessitando de uma maior capacidade de transmissão do canal, transformando-o em um canal de banda larga. Assim, vê-se a necessidade de um canal de interatividade que possa atender bem os requisitos de eficiência, velocidade e capacidade de transmissão, tanto no sentido direto como no reverso.

Neste ponto, já se percebe a existência de dois tipos de provedores, são eles, o Provedor de Serviços Interativos e o Provedor de Serviços de Transmissão. Estes provedores têm suas funções detalhadas neste trabalho, o que é importante esclarecer neste ponto, é que eles podem estar na mesma organização ou estabelecerem uma comunicação quando estão em lugares diferentes a fim de realizar o atendimento da solicitação feita pelo telespectador ao sistema.

Seja qual for o caso, o sistema pode utilizar a alta taxa de transmissão do padrão DVB na entrega da informação ao telespectador. Por exemplo, para o canal de transmissão de dados MPEG-2, implementado em um sistema de distribuição via satélite (DVB-S), essa taxa de transmissão pode atingir valores de até 38Mbits/s por canal.

1.2 O Padrão Europeu de TV Digital

Até antes da década de 90, a transmissão de sinais digitais de TV até os lares era tida como impraticável e custosa de se implementar. Em 1991, emissoras e fabricantes de equipamentos pensaram em discutir a possibilidade de concepção de uma plataforma de desenvolvimento de um sistema pan-europeu de TV digital terrestre, e no final daquele mesmo ano, emissoras, fabricantes de equipamentos eletrônicos e órgãos regulamentadores, se uniram para discutir a formação de um grupo que desenvolveria o sistema de televisão digital na Europa. Após várias discussões e avaliações feitas, em setembro de 1993 criou-se o *Digital Video Broadcasting Project*, ou simplesmente o *DVB Project*.

Ao mesmo tempo, um grupo separado chamado *Grupo de Trabalho em Televisão Digital* preparava um estudo de perspectivas e possibilidades de instalação da TV Digital no continente europeu. Os relatórios emitidos por esse grupo introduziam novos conceitos tais como o da serventia de vários mercados consumidores ao mesmo tempo, por exemplo, os mercados de TV portátil e de HDTV.

Nessa mesma época, a indústria de satélites europeia estava em processo de crescimento, principalmente pela utilização da tecnologia MAC que proporcionaria uma total digitalização do sistema. Após alguns estudos sistemáticos, tornou-se claro, que os sistemas via satélite e a cabo, para a transmissão do sinal digital de televisão, seriam os primeiros a serem implementados devido a poucos problemas técnicos, baixa sensibilidade às alterações climáticas e, é claro, às prioridades impostas pelo mercado.

Em 1997 o desenvolvimento do DVB Project, tinha atingido, com sucesso, seus planos iniciais pré-estabelecidos, e o projeto migrava para sua próxima fase, que seria a abertura do mercado de oportunidades de forma global, fazendo da TV Digital uma realidade. O padrão DVB a partir de então tem sido adotado em várias partes do mundo, como um dos mais respeitados padrões de televisão digital existentes.

O DVB *Project* consiste num conjunto de especificações descrevendo protocolos e interfaces para todos os tipos de transmissão de mídia e cenários de rede. Para o canal de interatividade proposto pelo sistema DVB, tem-se uma série de especificações, entretanto, é feita apenas a análise do canal de interatividade para sistemas de distribuição via satélite, ou seja, o padrão DVB-RCS.

2. Modelo de Referência para o Sistema DVB-RCS

O padrão DVB permite que aplicações interativas idênticas executem em diferentes plataformas utilizando o mesmo canal de retorno, isso acontece porque os protocolos da camada superior são independentes da rede, permitindo o estabelecimento da interface necessária à comunicação entre camadas diferentes. As ferramentas que permitem interatividade em DVB consistem, de um modo geral, de uma parte comum que é independente da rede chamada DVB-NIP e uma parte dependente da rede. A análise do canal interativo no padrão DVB para a comunicação via satélite, passa pelo estudo dos modelos de referência desenvolvidos, mostrados a seguir.

2.1 Modelo de Camadas de Protocolos

Este modelo é representado por uma pilha de protocolos, como mostrado na Figura 2.1, que consiste em um conjunto “seqüencial” de camadas devidamente distribuídas. São elas:

- Camada física;
- Camada de controle de acesso ao meio;
- Camada média superior;
- Camada de aplicação;

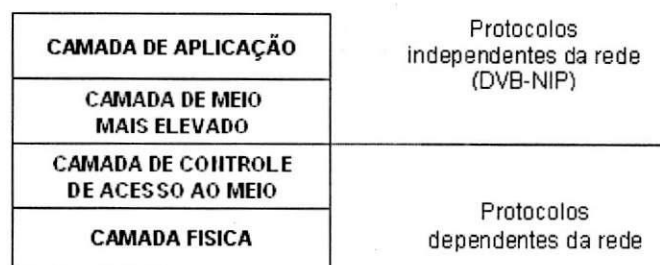


Figura 2.1 – Modelo de camadas de protocolos para serviços interativos em DVB-RCS.

A *camada física* contém a definição de todos os parâmetros de transmissão (elétricos) do sistema, assim se constituindo no alicerce sobre a qual está apoiada toda a estrutura do sistema. Nela estão contidas, as especificações do esquema de modulação adotado, codificação do canal, intervalo de frequência, esquemas de equalização, filtragem e controle da potência de transmissão.

Na *camada de controle de acesso ao meio*, encontra-se em execução o protocolo MAC, que promove a interface entre a camada de meio mais elevado e a camada física, tornando transparente o intercâmbio de dados entre elas. Da Figura 2.1 mostrada anteriormente, pode-se observar também, que a *camada física* e a *camada de controle de acesso ao meio* são dependentes da rede e por este motivo, serão diferentes no caso de adoção de outras soluções técnicas.

A *camada de meio mais elevado* estabelece uma interface unificada para serviços interativos, ela possui uma pilha de protocolos internamente, que são independentes da rede. Esta pilha de protocolos é responsável pelo envio de dados do *provedor de serviços interativos* ou do *provedor de serviços de transmissão* para o *set-top box* do usuário final pelo canal de comunicação do sinal digital de TV, isto é, empregando o sistema de transmissão de dados DVB/MPEG-2, ou mesmo enviando dados do provedor de serviços interativos para o terminal do usuário via canal interativo e vice-versa. Os pacotes de dados enviados e recebidos por essa camada, podem conter informações de como configurar uma aplicação específica que se encontra em execução, ou mesmo conter áudio e vídeo.

A independência da rede por parte desses protocolos da camada superior se dá pelo uso da tecnologia DSM-CC, da utilização do protocolo IP somado a protocolos de transporte apropriados, inseridos no canal interativo e pela utilização do Carrossel de dados MPEG-2 no canal de

transmissão. Na aplicação de DSM-CC em sistemas DVB, são utilizados dois conjuntos de protocolos independentes da rede.

No primeiro conjunto, estão os protocolos responsáveis pela transmissão de áudio, vídeo e dados, que podem ser entregues usando o canal de transmissão ou o canal de interatividade. Quando se utiliza o canal de transmissão, o envio desses dados é feito da forma nativa especificada nos sistemas de transmissão DVB, entretanto, pacotes de mídia podem ser encapsulados em IP, usando seções privadas MPEG-2, isto é, seções DSM-CC. Na utilização de TCP/IP sobreposto ao canal de transmissão, é possível, estabelecer um canal de interação (canal de retorno), para acomodar o fluxo de retorno dos sinais de reconhecimento. Utilizando o canal de interatividade para a transmissão, há em sua arquitetura, o protocolo IP trabalhando em conjunto com o protocolo PPP.

No segundo conjunto, estão os protocolos que permitem o *download* de dados pelo canal de transmissão ou do canal de interatividade, diretamente para o *set-top box* do usuário ou telespectador. Esses protocolos também permitem a interatividade entre usuários utilizando, igualmente para isso, o canal de transmissão ou o canal de interatividade. No canal de transmissão, os dados são organizados em DSM-CC e carrosséis de objetos que são transmitidos em sessões privadas MPEG-2. No canal de interatividade, utiliza-se o DSM-CC sobre o protocolo IP.

Não é usual a sinalização e controle de sessões em *set-top boxes*, entretanto definiu-se uma pilha de protocolos específica para tal finalidade, devido à necessidade de travessia entre múltiplas redes de acesso a serviços interativos. Os dados relativos a sessões são trocados de forma bidirecional entre uma unidade *set-top box* ou provedor de serviços e uma entidade de controle de sessão presente na rede. Para isso é criada uma interface entre a rede e o usuário por meio de seções DSM-CC contidas em MPEG-2.

No canal de interatividade, é possível também criar um sistema de diagnóstico remoto de *set-top boxes*. Neste caso utiliza-se o protocolo SNMP que é encapsulado em IP no canal de interatividade.

Por fim chega-se à camada de aplicação, nela, os *softwares* interativos que serão manipulados diretamente pelo telespectador estarão em execução, permitindo a criação de um ambiente visual ou interface gráfica de controle e acesso ao provedor de serviços interativos.

2.2 Modelo do Sistema de Serviços Interativos

Este modelo, que é visto na Figura 2.2, descreve o conceito básico de interatividade em sistemas DVB-RCS. Na figura observa-se que são estabelecidos dois canais de comunicação entre o provedor de serviços e o usuário ou telespectador, são eles o *canal de transmissão* e o *canal de interação*.

O canal de transmissão possui banda larga e é unidirecional, levando vídeo, áudio e dados do provedor de serviços até o usuário, ele pode utilizar também, o *caminho direto para a interação* visto na figura, quando necessitar enviar dados mais específicos de configuração e inicialização.

O canal de interação é estabelecido entre o usuário e o provedor de serviços e permite uma comunicação bidirecional entre o provedor e o usuário, com a finalidade de atender às solicitações feitas por meio da *interação* entre eles. Neste canal, observa-se as seguintes subdivisões:

- *Caminho de Retorno para a Interação ou Canal de Retorno*, estabelece a comunicação no sentido Telespectador – Provedor de Serviços, e é utilizado para fazer requisições ao sistema, responder questões ou enviar dados.
- *Caminho Direto para a Interação ou Canal Direto*, estabelece a comunicação no sentido Provedor de Serviços – Telespectador, sua utilização é fundamentada no fato de que o sistema tem que responder, por este canal, às requisições de serviço feitas pelo telespectador. No padrão DVB esse canal pode ser embutido no canal de transmissão do sinal DVB/MPEG-2 e, portanto, ele pode inexistir em certas aplicações práticas onde o canal de retorno não atinja altos níveis de interatividade, o que necessitaria de uma maior capacidade de transmissão.

Alguns sistemas adicionais são mostrados na Figura 2.2. Os adaptadores de rede promovem a conectividade entre os provedores de serviços interativos e de transmissão às suas respectivas redes. Por outro lado, os módulos de interface conectam as redes de transmissão ou interatividade ao usuário ou telespectador.

O Provedor de Serviços de Transmissão é responsável pela transmissão do fluxo de dados MPEG-2 (sinal digital de TV) de forma unidirecional para o telespectador.

O Provedor de Serviços Interativos dedica-se a receber as solicitações de serviço feitas pelo telespectador e de enviar, ao mesmo, dados ou questões pertinentes ao pedido realizado, promovendo, deste modo, a interatividade desejada. Este provedor, diferentemente do Provedor de Serviços de Transmissão, trabalha com dois canais, o *canal de retorno* e o *canal direto*, que contêm respectivamente fluxo de subida e fluxo de descida de dados. Conforme citado anteriormente, esse provedor pode embutir seus dados no fluxo de dados MPEG-2 transmitido pelo Provedor de Serviços de Transmissão, com a finalidade de aumentar a velocidade de comunicação entre o sistema e o telespectador e de reduzir as redundâncias que fariam uso do canal de interatividade.

Para finalizar, há o *Terminal de Satélite do Canal de Retorno* (RCST), este engloba, os já mencionados, *adaptadores de rede* e *módulos de interface* que fazem parte da *unidade de interface de rede*, além de comportar mecanismos de acesso às unidades de *set-top box*.

O RCST provê interface para ambos os canais de transmissão e interatividade. Como observado na Figura 2.2, para o canal de interatividade, essa interface é criada e mantida pelo *módulo de interface para interação*, já para o canal de transmissão, a interface é estabelecida por meio do *módulo de interface para transmissão*.

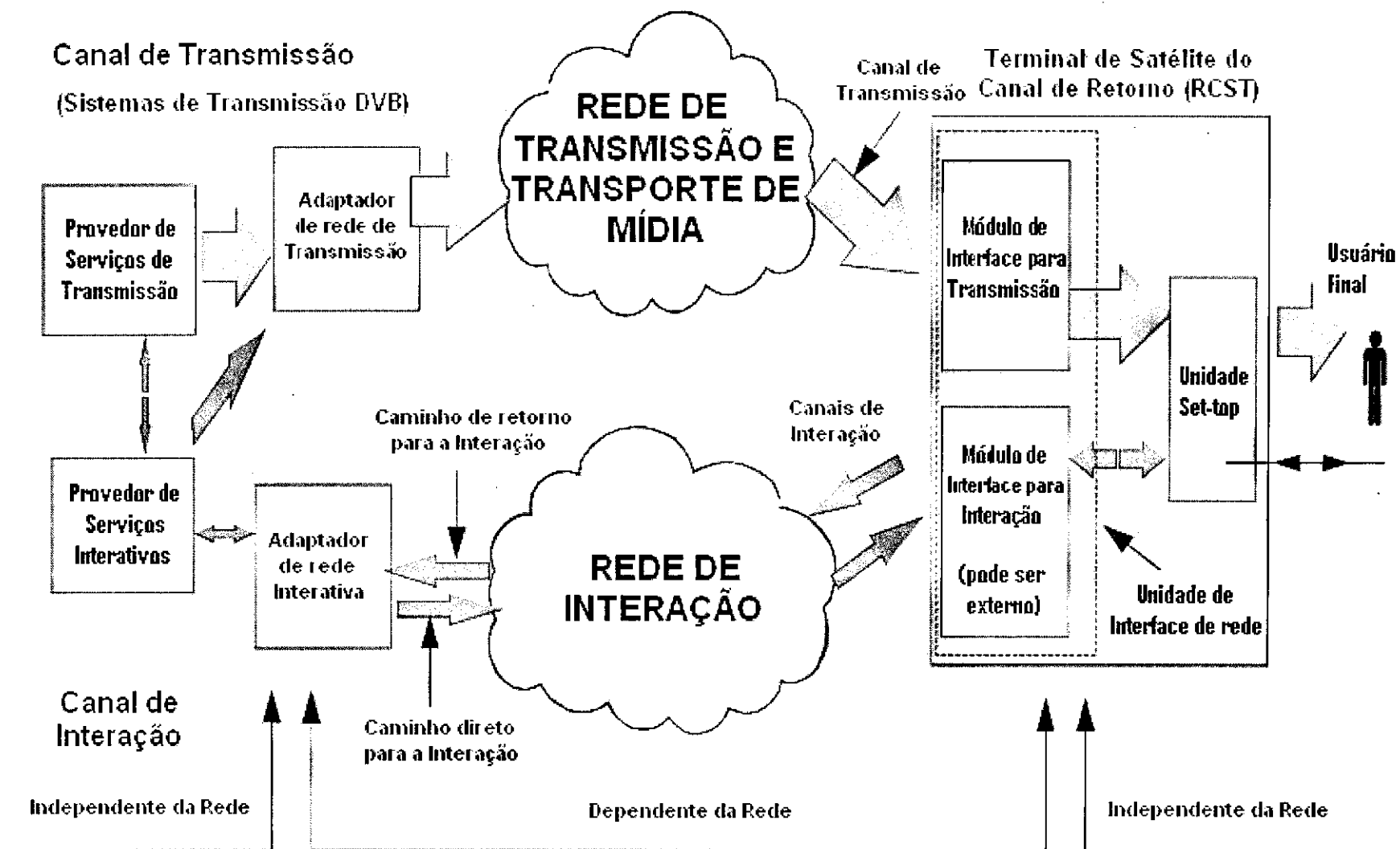


Figura 2.2 – Modelo de referência genérico para serviços interativos no padrão DVB-RCS.

2.3 Modelo da Rede de Interação via Satélite

O modelo de referência, no padrão DVB, para o canal de interatividade implementado em sistemas de distribuição via rede de satélites geostacionários com terminais de satélite do canal de retorno, fixados em pontos estratégicos da superfície terrestre, é mostrado na Figura 2.4.

Esses terminais de acesso interativo a sistemas de satélite, têm sido bastante procurados pelo mercado de negócios devido à velocidade de propagação das informações que trafegam na rede, além disso, esses sistemas já são utilizados em muitos países, também em ambiente doméstico, onde atingiram proporções nunca antes imaginadas.

Observa-se na Figura 2.4, quatro sistemas principais, a *estação alimentadora*, a *estação gateway*, o *Terminal de Satélite do Canal de Retorno (RCST)* e o *Centro de Controle da Rede (NCC)*.

A estação alimentadora tem a função de transmitir no *link* direto o sinal digital de TV padrão DVB-S gerado pela emissora ou provedor de serviços. Nesse mesmo *link* de transmissão (*link* de subida), os dados de controle, os dados do usuário e os sinais de temporização, os quais são indispensáveis para a sincronização entre os *links* de subida e descida, são multiplexados.

No modelo ilustrado, há uma utilização de satélites diferentes para os *links* de subida e descida, entretanto, isso não ocorre na prática, visto que um mesmo satélite é utilizado para ambos os *links* reservando-se, evidentemente, bandas de frequências diferentes para cada um deles. A estação *gateway* recebe os sinais de retorno do RCST e proporciona o acesso a outras redes, sejam elas públicas ou privadas ou a outros serviços interativos tais como canais *pay-per-view*, *download* de *software*, tele vendas, etc.

O NCC é responsável pela geração de sinais de temporização e controle para a operação adequada da rede interativa de satélites. Esses sinais podem ser transmitidos por uma ou várias estações alimentadoras. O NCC também é responsável pelo monitoramento das funções por ele realizadas.

Um RCST é capaz de receber sinais digitais pelo *link* direto e de transmitir sinais, também digitais, pelo *link* de subida. O canal de retorno faz um uso específico da camada física e de funções de controle de acesso ao meio. No processamento de sinais digitais em cada transmissor RCST, têm-se as seguintes etapas: *formatação burst*, *dispersão de energia*, *codificação de canal* e *modulação burst*, como observado na Figura 2.3.

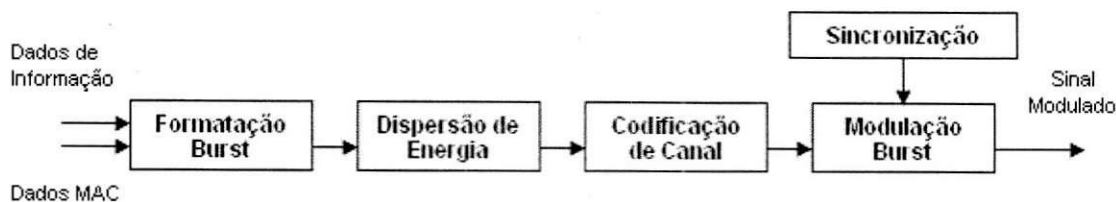


Figura 2.3 – Diagrama de blocos do processamento do sinal de banda básica no canal de retorno realizado por um transmissor RCST.

Devido a sua capacidade de transmitir e receber sinais, um RCST precisa estar sincronizado com toda a rede interativa de satélites, logo, existe um esquema de sincronização baseado em um *clock de referência da rede* (NCR) e em mensagens sinalizadoras contidas em seções privadas DVB/MPEG-2 TS. Este NCR é distribuído com um *identificador de pacote* (PID) específico no interior do fluxo de dados MPEG-2, o RCST reconstrói o *clock de referência da rede* do sinal recebido.

Os dados são transmitidos em *bursts* alojados no fluxo de subida. Há quatro tipos de *bursts* especificados que atuam nos seguimentos de tráfego, aquisição, sincronização e sinalização no canal. Os *bursts* de tráfego são utilizados para levar dados do RCST para a estação *gateway*, estes *bursts* podem ser baseados em células ATM ou seções privadas MPEG-2-TS. *Bursts* de sincronização e aquisição são necessários para promover um posicionamento preciso na transmissão dos *bursts* do RCST durante e após o *logon*. *Bursts* de sinalização no canal são utilizados pelos RCSTs para informar a rede sua identidade durante o *logon*.

Cada *burst* é seguido de um tempo de espera para permitir aos RCSTs ignorar possíveis transientes e erros de temporização no sistema. A duração desses tempos depende da rede e nenhum valor geral é estipulado.

Um sinal de *burst* é um fluxo de dados transmitido de forma serial e representado por uma seqüência pseudo-aleatória específica. Existem esquemas de correção de erro tais como *codificação turbo* e um *esquema de codificação concatenado*, todos eles obrigatórios para o RCST. A modulação empregada é a *QPSK Gray-coded*.

No sistema DVB-RCS, um conjunto de mensagens MAC foi definido para permitir aos RCSTs solicitarem ao sistema uma maior capacidade de transmissão e para suportar sincronização, controle e administração de recursos.

A tarefa de controlar a capacidade de transmissão de um canal é realizada pelo NCC, que recebe solicitações de múltiplos RCSTs e tem que concorrentemente compartilhar o *link* de satélite com todos eles.

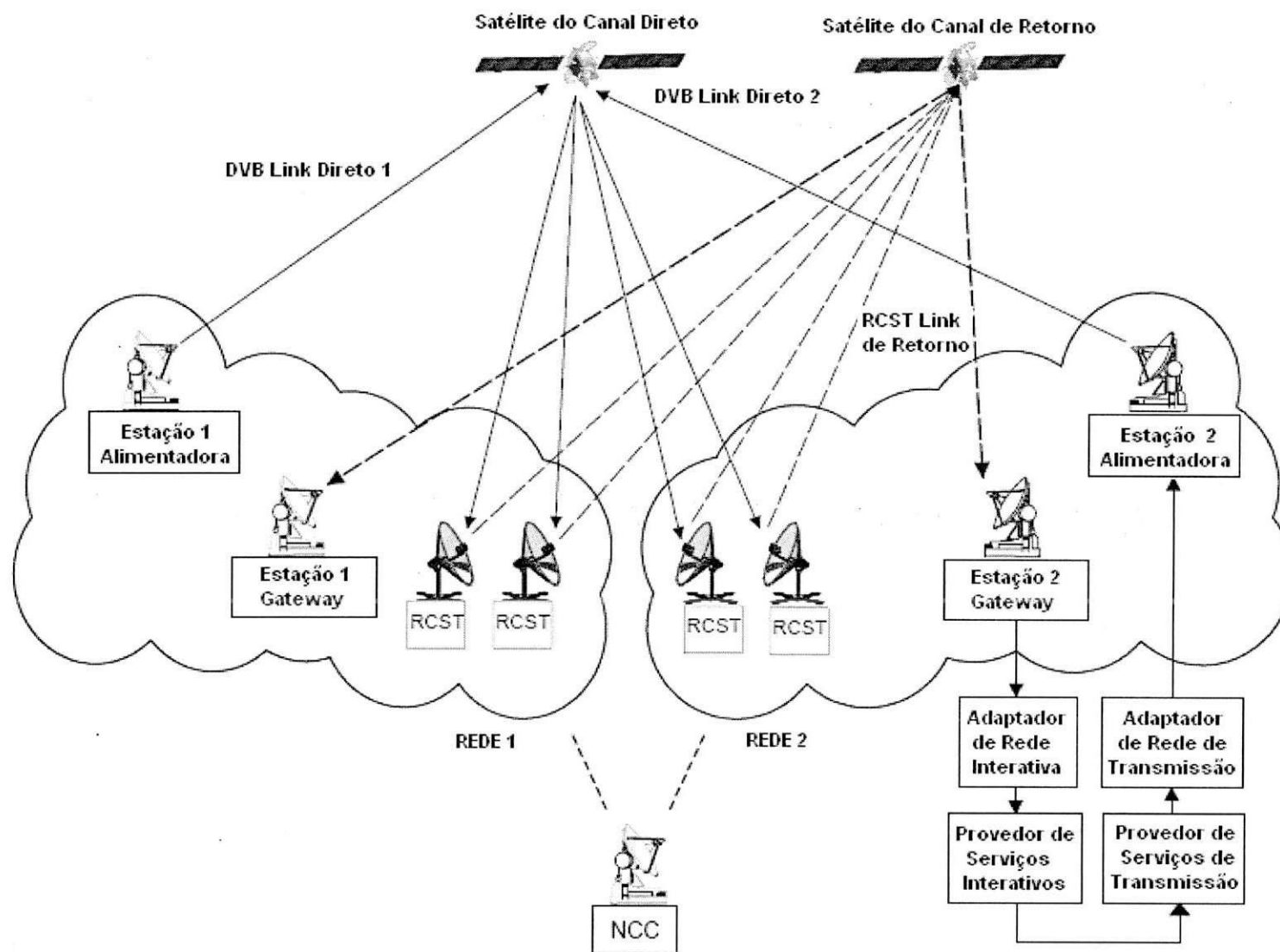


Figura 2.4 – Modelo de referência da rede interativa via satélite no padrão DVB.

Para acessar diretamente o satélite, a técnica utilizada é a do *acesso múltiplo por divisão temporal e multi-frequencial* (MF-TDMA). Com essa técnica é possível um grupo de RCSTs se comunicar com uma estação *gateway* usando um conjunto de múltiplas frequências portadoras, sendo cada um destes conjuntos alojados em fatias de tempo específicas. A alocação de capacidade de transmissão para um RCST individual e ativo na rede contém uma série de sinais *burst* que são caracterizados por uma frequência portadora, uma largura de faixa, um tempo inicial e uma duração em termos do número de fatias de tempo subseqüentes, que o *burst* pode ocupar nesta particular frequência do canal.

Para distribuir a capacidade de transmissão disponível entre vários RCSTs, o NCC utiliza dois mecanismos distintos. No MF-TDMA *com fatia de tempo fixa*, a largura de faixa e a duração de *bursts* de tráfego sucessivos destinados a um RCST são fixas, deste modo, apenas a frequência varia de *burst* para *burst*. Por outro lado, há o MF-TDMA *com fatia de tempo dinâmica*, que utiliza a capacidade adicional que possui um RCST de variar a largura de faixa e a duração de fatias sucessivas de tempo alocadas para ele. Nesse mecanismo, um RCST pode alterar também a taxa de transmissão e a codificação entre *bursts* que se sucedem.

Nesse último mecanismo, há a vantagem de ter uma adaptação mais eficiente aos serviços de multimídia que possuem, devido a sua complexidade, uma ampla variação de requisitos de transmissão.

No sistema DVB-RCS, o *link* de retorno de uma rede interativa de satélites é organizado em fatias de tempo que representam a menor unidade de alocação de recursos do sistema. Uma coleção de fatias de tempo em diferentes canais de frequência, com possíveis variações de característica, formam um *frame* que por sua vez combinados, geram *superframes*. Este processo de alocação de fatias de tempo suporta cinco categorias distintas de capacidade de transmissão. De modo geral, essa capacidade é requisitada pelo RCST baseada na taxa de dados desejada, ou seja, no volume de dados a ser transmitido em uma quantidade de tempo pré-definida, ou mesmo baseado no volume de dados sem a indicação de quantidade de tempo.

Com a designação de uma taxa contínua, um número de fatias de tempo é alocado para um RCST particular em cada *superframe* sem requisições individuais. O tamanho designado é suficiente para acomodar uma taxa de dados constante que foi previamente negociada entre o RCST e o NCC. O RCST também pode utilizar um método dinâmico de requisição de capacidade de transmissão, quando este indica diretamente ao NCC a taxa de dados ou o volume que necessita transportar por meio da rede. No caso da indicação do volume de dados, este pode ser cumulativo ou absoluto.

As operações que têm o propósito de controlar e administrar o sistema estão encapsuladas no protocolo MAC e permitem aos RCSTs efetuarem o *logon* na rede, sua identificação e controle de potência de transmissão.

3. Sistema de Satélites em DVB

Todas as comunicações via satélite envolvem pelo menos três estações, duas em solo terrestre e uma estação repetidora no satélite. Assim, como visto na Figura 3.1 esse sistema consiste em, pelo menos, três partes:

- Segmento espacial: o satélite e os caminhos de transmissão através da atmosfera;
- Segmento terrestre: comporta as estações que se comunicam com o satélite;
- Interfaces com as redes terrestres que fazem uso do sistema de satélites;

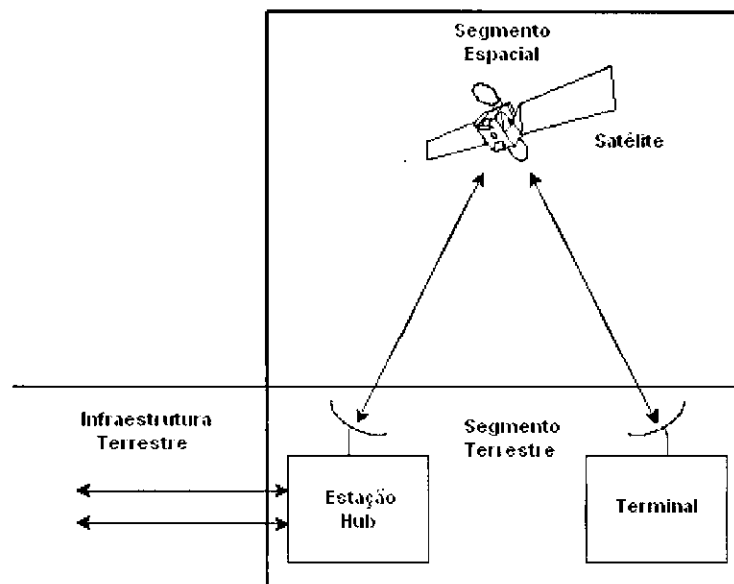


Figura 3.1 – Componentes básicos em um sistema de satélites.

3.1 Transponders de Satélites

Um *transponder* de satélite é um sistema de comunicação localizado no próprio satélite, composto por antenas transmissoras e receptoras, transmissores, receptores, filtros, amplificadores e equipamentos auxiliares os quais, juntos, recebem sinais em uma frequência portadora e retransmitem em uma outra frequência portadora, realizando basicamente uma translação no domínio da frequência.

Quando presentes em satélites geoestacionários, eles agem da mesma forma que uma estação terrestre de retransmissão de microondas, recebendo o sinal de microondas da Terra pelo *link* de subida, que é amplificado, transladado no domínio da frequência (modificação da portadora) e retransmitido no *link* de descida em direção à Terra. Esses *transponders* utilizam usualmente uma largura de faixa de radiofrequência de 33, 26 ou 72 MHz e podem ser de dois tipos básicos: transparente e regenerativo.

O *transponder* transparente é o mais simples dos dois, ele simplesmente converte a frequência da portadora e amplifica-a. Ele é chamado transparente, porque realiza as operações de amplificação e translação de frequência em todos os sinais presentes no *link* de subida, seja o sinal desejado como também o ruído indesejado.

O *transponder* regenerativo possui todas as funções de um *transponder* transparente, além de conter sistemas de demodulação e modulação dos sinais que transporta. Isso introduz uma vantagem adicional em relação ao *transponder* transparente, pois o ruído presente no *link* de subida é removido por filtragem e processamento e retransmite-se o sinal sem ruído pelo *link* de descida. Uma outra vantagem é que ele permite que um ou vários canais que estejam presentes no *link* de subida, serem transportados para o *link* de descida com o uso de canais multiplexados por divisão no tempo.

Logo, múltiplas aplicações que fazem o uso do satélite enviando sinais até ele por meio do *link* de subida tais como estações individuais de TV e provedores de serviços de dados, podem compartilhar recursos de maneira satisfatória quando o satélite combina todos estes sinais em um único ou vários canais de transmissão presentes no *link* de descida. Pode-se ver a aplicação na ilustração da Figura 3.2.

Os sistemas que fazem uso dos *transponders* regenerativos, principalmente na canalização por TDM, estão de acordo com as especificações DVB. Os *transponders* regenerativos, apesar de sua eficiência, ainda são novos e pouco utilizados na prática devido à complexidade de sua implementação. Assim, a maioria dos *transponders* utilizados é do tipo transparente, porém, os tipos regenerativos, têm sido uma inovação tecnológica com boas perspectivas para o futuro das comunicações via satélite.

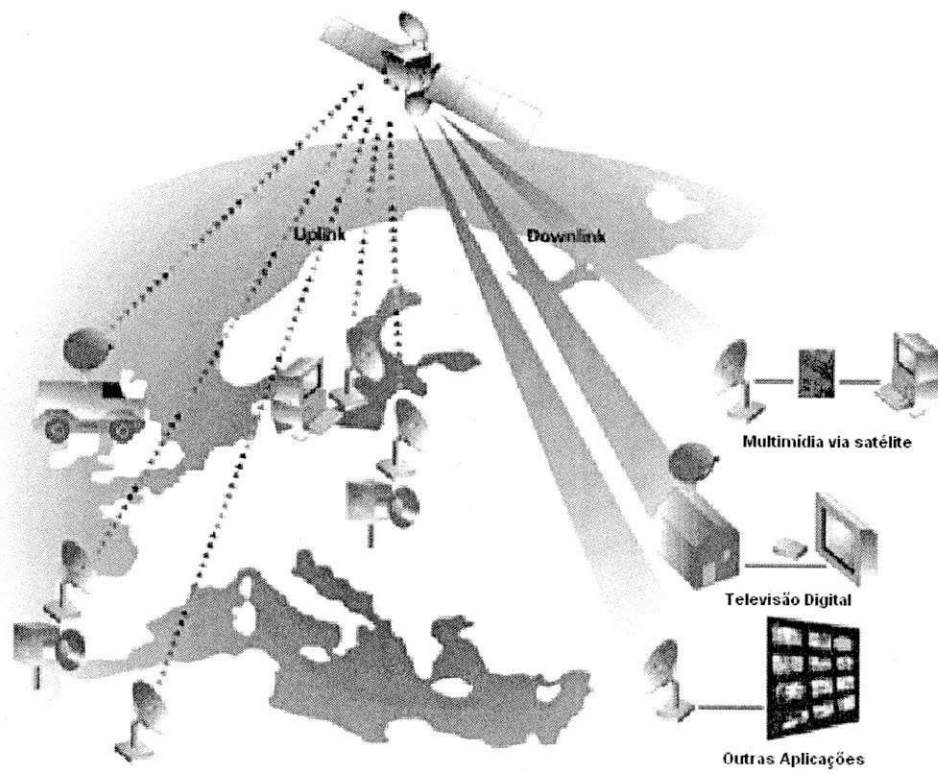


Figura 3.2 – Aplicações básicas de um sistema de satélites.

3.2 As Estações Terrestres

Como ilustrado na Figura 3.3, todas as estações digitais de radiocomunicações, sejam elas para comunicações via satélite ou para comunicações terrestres, assim como telefones celulares compreendem sete componentes básicos.

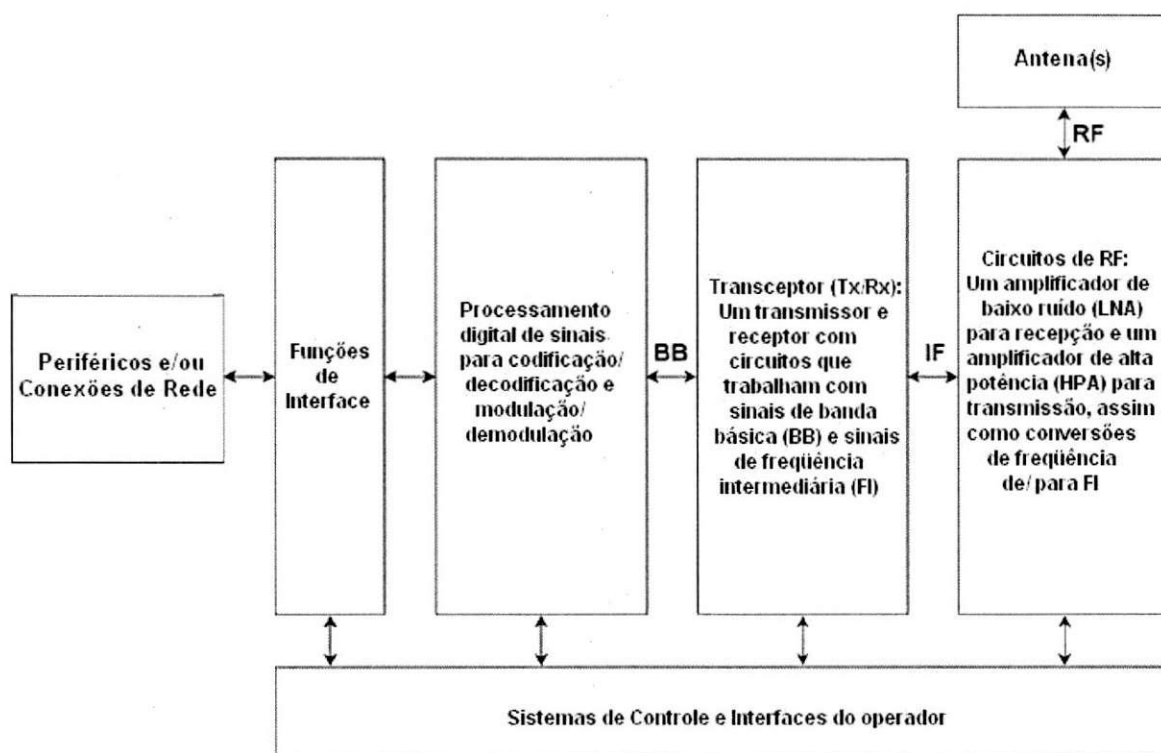


Figura 3.3 – Todas as estações digitais de radiocomunicações consistem basicamente de sete blocos construtivos que interoperam sinais de banda básica (BB), sinais FI e sinais RF.

O modo como as estações se comunicam depende da rede nas quais elas operam, assim, a estrutura da rede influencia o projeto das estações. As estações, não as redes, determinam as configurações da rede. O satélite, normalmente, não determina a configuração da rede. Isto porque muitas vezes, o satélite não introduz qualquer alteração nos sinais que recebe e desta forma é visto pela rede de forma absolutamente transparente.

Conforme se pode ver nas Figuras 3.4 e 3.5, existem duas configurações básicas de rede denominadas:

- Malha: Qualquer das duas estações pode se comunicar diretamente uma com a outra, sem a necessidade de envolver uma terceira estação.
- Estrela: Todas as estações dos usuários (terminais) se comunicam via estações base, ou *Hubs* presentes na rede.

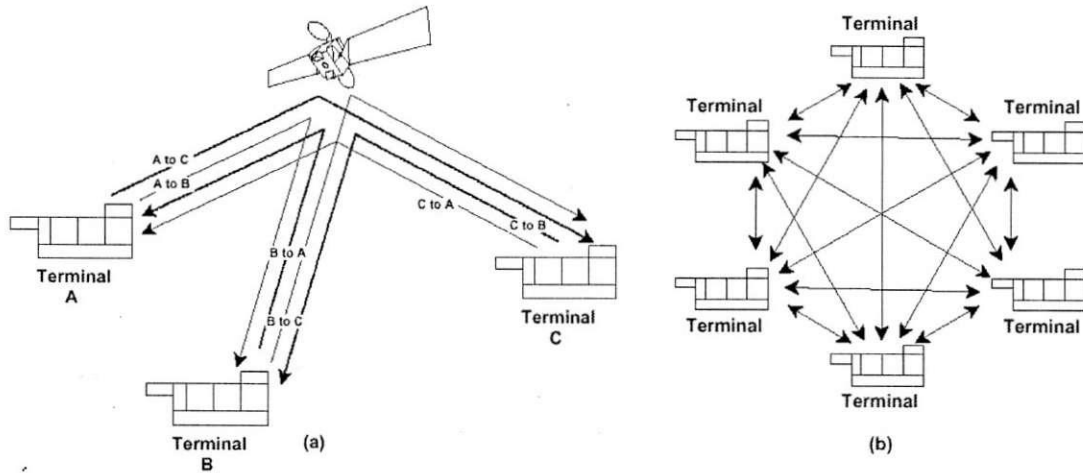


Figura 3.4 – (a) Típica rede em malha com três terminais se comunicando via satélite
(b) Malha total de comunicações entre os terminais de uma rede de seis estações.

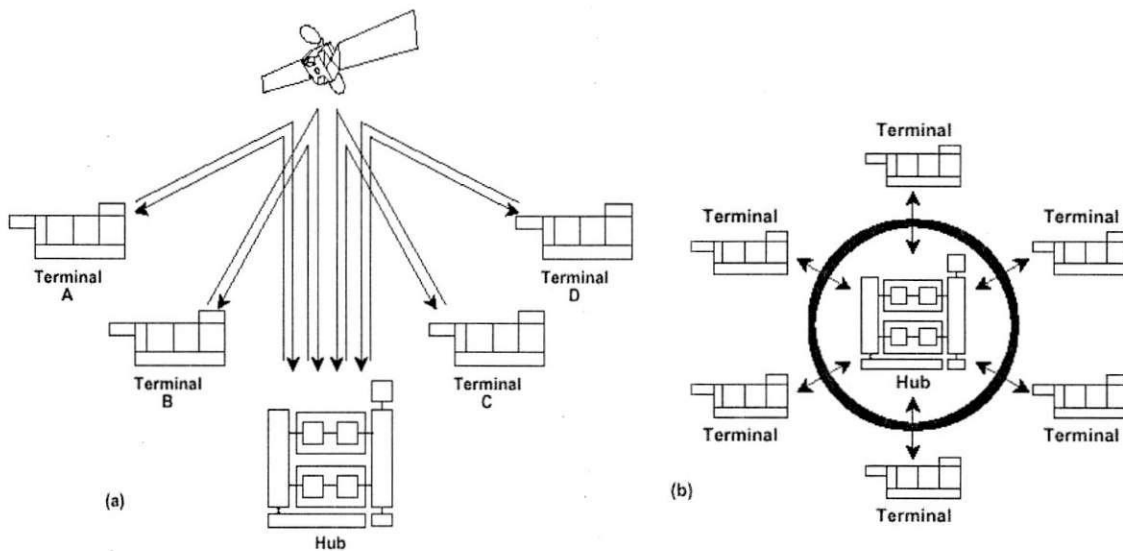


Figura 3.5 – (a) Rede estrela típica com quatro terminais se comunicando via estação central *Hub*
(b) Estrela total de comunicações entre os terminais de uma rede de seis estações.

As redes do tipo malha são mais simples do que as redes do tipo estrela, pois elas não necessitam de estações *Hub*. Além do mais, um canal estabelecido entre dois terminais (T-T) é direcionado uma vez para cima até o satélite e uma vez para baixo até a Terra em vez da seqüência cima-baixo-cima-baixo apresentada pelas redes tipo estrela. Daí, o tempo de latência é a metade daquele apresentado nas comunicações T-T em uma rede estrela. Isso representa uma grande vantagem em sistemas que movimentam grandes volumes de dados entre terminais.

Entretanto como não há uma única grande estação com uma grande antena na rede, então todos os terminais precisam de antenas maiores do que seriam necessárias se operassem em uma

rede estrela, além disso, o aumento do número de estações aumenta consideravelmente o tráfego no canal de comunicações e conseqüentemente os terminais precisam estabelecer mecanismos de controle ao acesso múltiplo nas chamadas efetuadas e isso torna bastante custoso o sistema de rede em malha, claro que, particularmente, para um grande número de terminais de acesso, como é o caso do sistema de TV Digital.

Por outro lado, redes do tipo estrela, podem suportar muitos terminais pequenos e econômicos. Além disso, uma única grande estação *Hub* pode ser expandida ou reconfigurada com novos serviços, o que torna a rede estrela adaptável às mudanças que o usuário necessita.

Uma conseqüência dessas características da rede tipo estrela é a sua ampla utilização em redes de telefonia celular e todas as redes de comunicações padrão DVB-RCS.

Os termos *hub* e *gateway* são ambos utilizados para designar a estação principal em um sistema de comunicações via satélite que carrega os serviços de redes terrestres de/para terminais. Em comunicações via satélite, particularmente em terminais de muito pequena abertura (VSAT), *hub* significa a estação central de uma rede configurada em estrela como mostrado na Figura 3.5. Em sistemas de telecomunicações em geral, uma estação *gateway* une duas redes, e em muitos casos, realiza uma conversão entre protocolos, estabelecendo uma interface entre elas.

O sistema DVB-RCS é configurado em estrela, com as estações *gateway* anteriormente citadas, estabelecendo a comunicação entre redes de arquiteturas diferentes.

3.3 Codificação

A codificação é a operação de codificar os dados no transmissor e decodificá-los no receptor, a fim de que estes apareçam ao usuário do sistema de TV digital, com a máxima precisão. Em alguns sistemas de comunicações, alguns bits adicionais chamados “bits redundantes” são transmitidos no próprio fluxo binário que carrega os dados. Esses bits adicionais permitem que erros sejam detectados e possivelmente corrigidos no lado do receptor. Existem, por assim dizer, dois tipos básicos de códigos:

- Código de detecção de erros: O mais simples de todos os códigos permite a detecção de erro de um bit em uma única palavra de código, mas não pode definir exatamente qual o bit que apresentou o erro. No lado do receptor, quando um erro é detectado, uma requisição automática de repetição (ARQ), é enviada ao transmissor, a fim de que este possa retransmitir novamente os dados que apresentaram erro na primeira recepção.

- Código de correção de erros: Códigos mais complexos permitem a correção sem retransmissão, por esse motivo são conhecidos como “Códigos de correção direta de erros” (FEC), e são utilizados largamente em sistemas de satélites.

Os FEC são classificados de acordo com a “taxa de código” que é a razão entre o número de bits em uma palavra ou mensagem em um fluxo de bits original e o número de bits atualmente transmitido.

$$\text{Taxa de código} = (\text{bits na palavra de código})/(\text{bits transmitidos}) \quad (3.1)$$

Por exemplo, se um bit redundante é acrescentado para cada três bits no fluxo original, a taxa de código é de 3/4. O desempenho de um código em um canal é expresso em termos da relação da taxa de energia por bit pela potência do ruído (E_b/N_o), para a taxa de erro de bit (BER) alcançada.

A vantagem obtida é chamada “ganho de codificação” que é a taxa E_b/N_o em decibéis com e sem codificação, como ilustrado na Figura 3.6.

O ganho de codificação é um dos principais parâmetros que Engenheiros podem variar no projeto de um sistema. Por exemplo, um grande ganho de codificação pode possibilitar um uso de menor potência por parte do transmissor, a utilização de pequenas antenas, etc. A avaliação quantitativa desse parâmetro permite também a estimativa de perdas que possam aparecer tanto no *link* de subida como no *link* de descida do sistema de satélites.

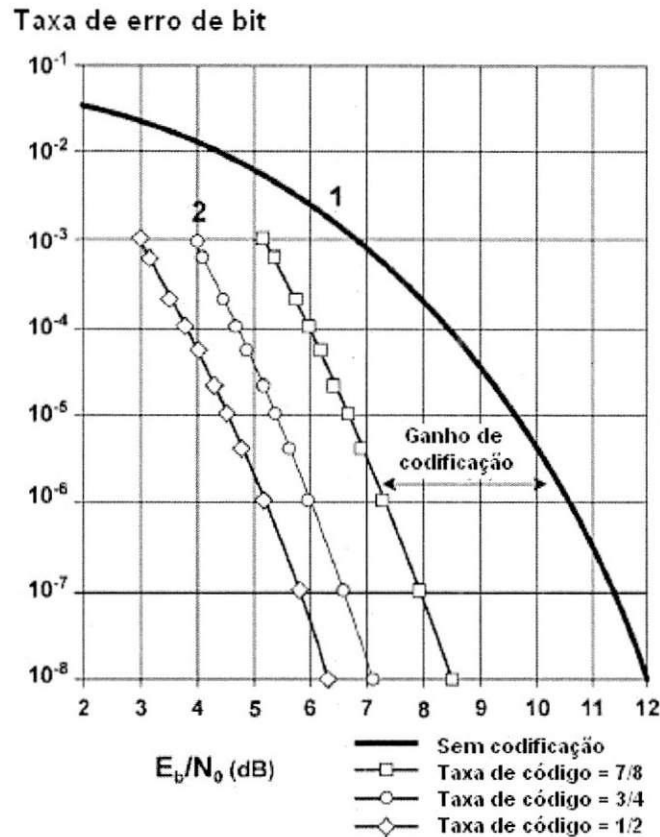
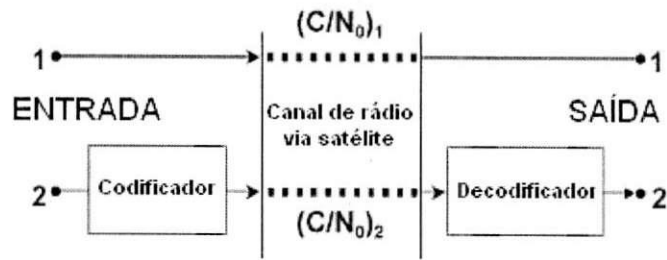


Figura 3.6 – O desempenho da codificação pode ser medido pela avaliação da taxa de erro de bit (BER) de um *link* codificado com aquela de um *link* não codificado. As curvas mostradas são para um esquema de codificação convolucional e um típico decodificador Viterbi presente no receptor.

3.4 Esquemas de Modulação

Sinais digitais podem ser transmitidos por um *link* de rádio, pela modificação de algum parâmetro da portadora de radiofrequência como amplitude, fase ou frequência. Essa modificação de parâmetro, com vistas à transmissão, chama-se de *modulação*. Se nenhum ruído estiver presente no canal, o método de modulação em amplitude é recomendado, por consumir uma pequena largura de faixa no canal em relação à modulação em fase ou modulação em frequência. Entretanto, em função da presença de ruído é necessário que os sistemas de modulação apresentem alta imunidade

ao ruído do canal. As técnicas de modulação utilizadas em praticamente todos os sistemas de satélites são a modulação em frequência ou modulação em fase.

A frequência pode ser definida como a variação da fase no tempo. Para sinais analógicos, a distinção entre modulação em frequência e modulação em fase não é tão bem percebida como para os sinais digitais. Isso porque um sinal modulante digital, possui apenas dois estados 0 ou 1 e a modulação consiste no “chaveamento” entre eles.

Assim, como mostrado na Figura 3.7, a modulação por chaveamento e deslocamento de frequência (FSK) consiste na produção de duas frequências portadoras f_1 e f_2 que representam os dois estados do sinal digital, enquanto que a modulação por chaveamento e deslocamento de fase (PSK), consiste na alteração na fase da portadora entre as transições de estado do sinal digital.

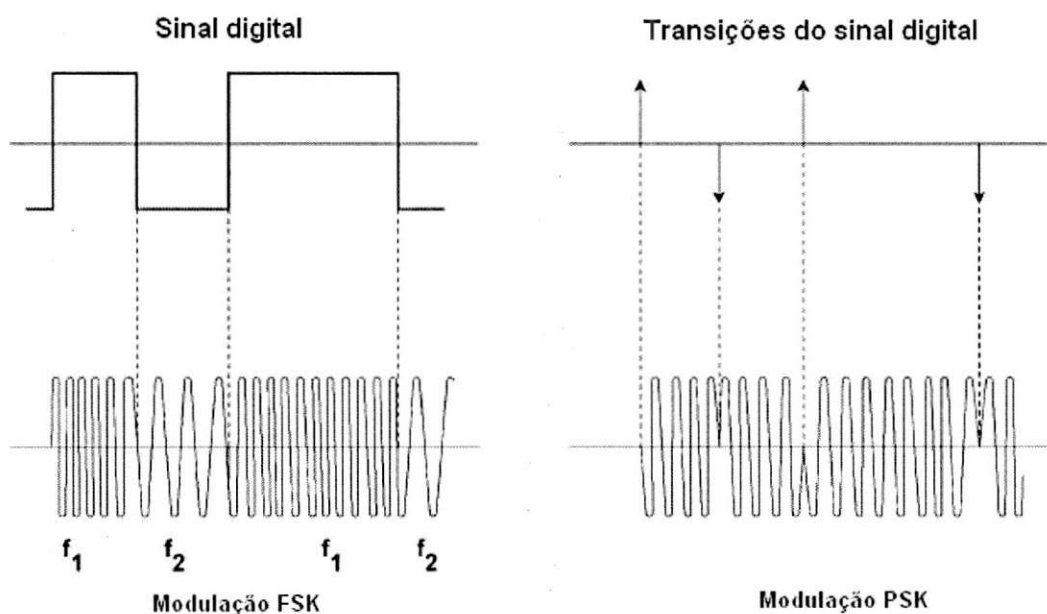


Figura 3.7 – Ações básicas realizadas nas modulações FSK e PSK.

Teoricamente seria mais conveniente distinguir os dois estados do sinal digital (0 ou 1), por meio da detecção de duas frequências diferentes, por meio de filtragem, no caso da modulação FSK. No caso da modulação PSK o sistema precisaria ter um conhecimento prévio da fase mais recentemente apresentada pela portadora modulada. Entretanto o esquema FSK é mais difícil de implementar, pois as frequências recebidas são frequentemente alteradas pelo efeito Doppler que aparece no canal devido ao deslocamento orbital do satélite. No caso de sistemas PSK, o problema de conhecimento prévio da fase pode ser resolvido, com a utilização de um sistema de sincronização temporal da rede pelo uso de *clocks* específicos de controle tanto no transmissor como no receptor. Além disso, estes *clocks* podem ser simulados no receptor para o reagrupamento

correto dos dados recebidos. A consequência disto é que a maioria dos satélites de comunicações hoje em dia emprega o esquema de modulação PSK.

Na modulação PSK básica, um sinal de dados binário é misturado com a portadora de radiofrequência e então filtrado para produzir um sinal de saída no qual as transições de 180° na fase, representam as transições entre 0 e 1 ou 1 e 0 no sinal modulante digital. Esta forma mais simples de modulação PSK é denominada BPSK e é amplamente usada em sistemas de radiocomunicação.

Entretanto a capacidade de transporte da informação é limitada em um bit por símbolo. Essa limitação é superada pelo esquema QPSK, no qual o dado binário é convertido em símbolos de dois bits e a fase modula o sinal da portadora.

Em QPSK quatro estados de combinação contendo dois bits são possíveis na representação binária dos números zero e um. Desta forma o sinal da portadora é deslocado entre um dos quatro estados, $+45^\circ$, $+135^\circ$, -45° e -135° . O sinal modulado em QPSK é produzido dividindo o sinal digital binário bit por bit, em dois sinais de dados binários, um dos quais é deslocado em quadratura (90° de deslocamento) em relação ao outro. Os dois fluxos binários são então combinados e utilizados para modular o sinal da portadora de radiofrequência. Cada símbolo resultante contém dois bits e, desta forma, um canal que adota o esquema QPSK pode carregar duas vezes mais informações do que se utilizasse BPSK.

A técnica de modulação QPSK é utilizada em sistemas DVB-S e DVB-RCS, ou seja, tanto nas especificações para o canal direto como para o canal de retorno, ambos via satélite.

Todavia, as especificações DVB para o esquema QPSK empregam um aperfeiçoamento na técnica básica, pois introduz uma mudança no padrão de bits que atualmente são codificados no transmissor e decodificados no receptor. Este avanço é chamado *Gray coded QPSK*, isto porque utiliza a *codificação Gray*. O *código Gray* aumenta a resistência ao ruído minimizando o número de erros de bit produzidos por um erro de símbolo. Seu princípio básico é que a transição entre estados do sinal digital envolve apenas a mudança de um bit, e isso simplifica a detecção de erros.

3.5 Taxa de Bit e Taxa de Símbolo

Os termos como taxa de bit e taxa de símbolo são parâmetros amplamente utilizados na caracterização de um canal de comunicações via satélite. Apesar de serem parâmetros diferentes, se relacionam de acordo com o esquema de modulação empregado.

Sabe-se que o bit é a menor unidade de informação que pode ser transportada em um canal de comunicações digitais e a taxa de bit, expressa em bits por segundo, é a capacidade que tem o canal

de carregar esta informação. O limite teórico da taxa de bit, livre de erros, que pode suportar um canal limitado em banda é determinada pelo limite de Shannon, de acordo com a equação

$$C = B \log_2 [1 + P/N_o B], \quad (3.2)$$

Em que C é a capacidade do canal em bits/s, B é a largura de faixa do sinal, P é a potência do sinal recebido e N_o é a densidade espectral de potência do ruído lateral único.

Em comunicações digitais, um símbolo é um estado elétrico de duração especificada, associado com um elemento transmitido. A taxa de símbolo, geralmente expressa em símbolos por segundo, exprime a capacidade do sinal modulado carregar informação. Conseqüentemente a taxa de símbolo é, às vezes, chamada taxa de modulação e tradicionalmente um símbolo por segundo é chamado um *Baud*, a unidade fundamental de velocidade de transmissão telegráfica. Entretanto, recentemente, a União Internacional de Telecomunicações (ITU) sugeriu que a taxa de símbolo seja expressa em *símbolos por segundo* em vez de *Baud*.

Como mostrado na Figura 3.8, em um sistema típico de comunicações digitais por satélite, um fluxo de bit de um usuário, a uma taxa de bit de I_b , passa por um dispositivo de correção direta de erro (FEC), no final os bits redundantes são adicionados para produzir o fluxo binário transmitido I_b' . Logo adiante, o fluxo de bit a ser transmitido, é modulado em uma portadora que possui uma taxa de símbolo R_s que depende do método de modulação empregado para codificar os bits presentes nos símbolos.

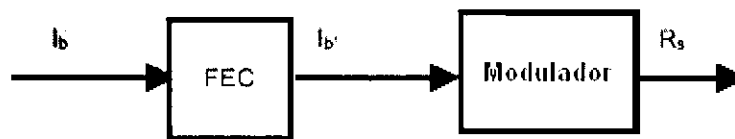


Figura 3.8 – Fluxo típico do sinal digital em sistema de satélites.

A taxa do sinal de saída depende do tipo de modulação e da taxa de bit transmitida de acordo com a equação abaixo, em que K é a dimensão do canal

$$R_s = I_b' / K, \quad (3.3)$$

$$K = \log_2 [SC], \quad (3.4)$$

Em que SC é o número de pontos no diagrama de constelação simbólica do método de modulação empregado. As relações, para os métodos de modulação mais usados em sistemas de satélites, são mostrados na Tabela 3.1.

Método de Modulação	Número de pontos no diagrama de constelação	Dimensão do canal (K)	Razão da taxa do sinal pela taxa de bit (R_s)
BPSK	2	1	1
QPSK	4	2	1/2
8PSK	8	3	1/3
16QAM	16	4	1/4

Tabela 3.1 – Relações para métodos de modulação mais usados em sistemas de satélite.

Por exemplo, para um FEC de 1/2 e esquema de modulação QPSK, tem-se:

- Taxa de bit transmitido $I_{b'} = 2I_b$
- E a taxa de símbolo = $0.5I_{b'} = I_b$

Neste caso, a taxa de símbolos é igual à taxa de fluxo de bit inicial. Mas, isso é uma simplificação, pois os *frames* em um canal de comunicações via satélite também carregam bits que são adicionados após FEC, mas antes da modulação, tais como cabeçalhos, palavras únicas, verificação de redundância cíclica (CRC) e blocos de bits.

3.6 Acesso ao Sistema de Satélites

Um típico satélite de comunicações possui vinte ou mais *transponders*. Tipicamente um *transponder* pode transmitir numa largura de faixa de 33 MHz e entregar aproximadamente 760Mbits/s de dados. Uma estação terrestre utiliza a largura de faixa do *transponder* de dois modos.

Se um transmissor envia uma única portadora que ocupa a largura de faixa inteira do *transponder*, o acesso é dito ser “única portadora por *transponder*”. Essa única portadora pode então ser dividida usando vários métodos de acesso, um deles é o TDMA, que proporciona comunicações por múltiplos canais. O resultado é o método de acesso conhecido como *Canais Múltiplos por Portadora* (MCPC). Deste modo, um ou mais transmissores podem enviar sinais de RF a diferentes frequências pelo mesmo *transponder*. Se cada portadora serve um único canal, então o acesso é conhecido como *Canal Único por Portadora* (SCPC).

Esses métodos são mostrados na Figura 3.9. Os sistemas DVB-S operam com MCPC, no qual todos os serviços são multiplexados em um único fluxo de dados que utiliza a capacidade inteira do *transponder*. A maioria dos sistemas VSAT usa MCPC/TDMA ou FDMA/SCPC.

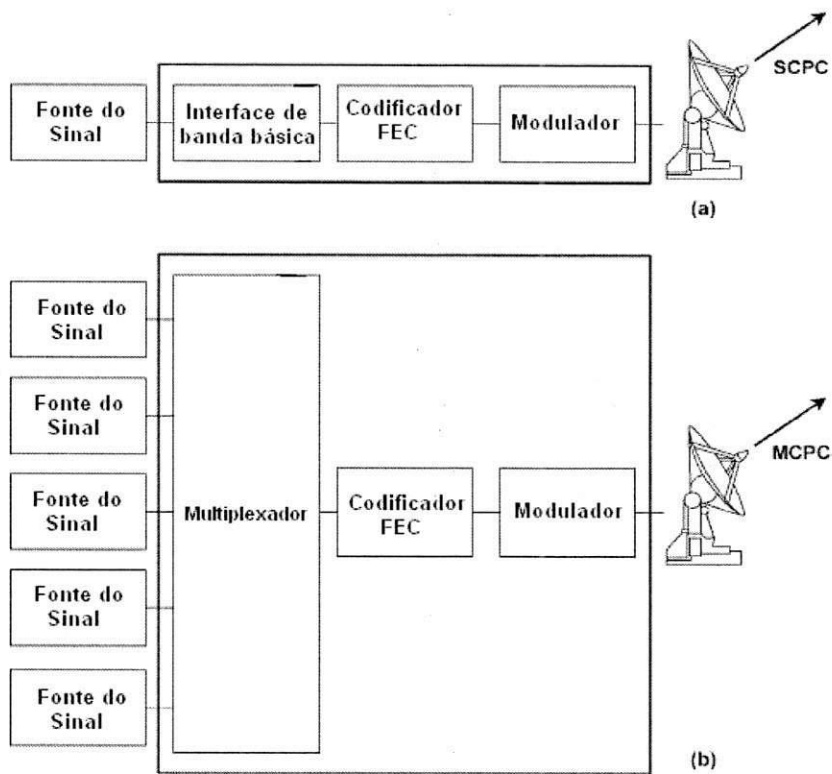


Figura 3.9 – Métodos de acesso MCPC e SCPC ao sistema de satélites.
Em DVB-S, utiliza-se MF-TDMA que é uma variedade de MCPC.

No canal de retorno via satélite para o padrão DVB, o MCPC é implementado de dois modos:

- Multiplexação por divisão no tempo (TDM) da estação *Hub* diretamente aos terminais.
- Acesso Múltiplo por Divisão Temporal e Multifrequencial (MF-TDMA), com um conjunto de frequências portadoras cada uma das quais são alocadas em fatias de tempo. Isso permite que muitos terminais transmitam simultaneamente para a estação *Hub* pelo canal de retorno.

Os principais parâmetros dos *transponders* são a largura de faixa de operação e a potência que podem entregar no *link* de descida. Essas limitações são mostradas na Figura 3.10. As larguras de faixa de *transponders* que podem ser usados para suportar canais DVB-RCS são tipicamente 33, 26 ou 72MHz.

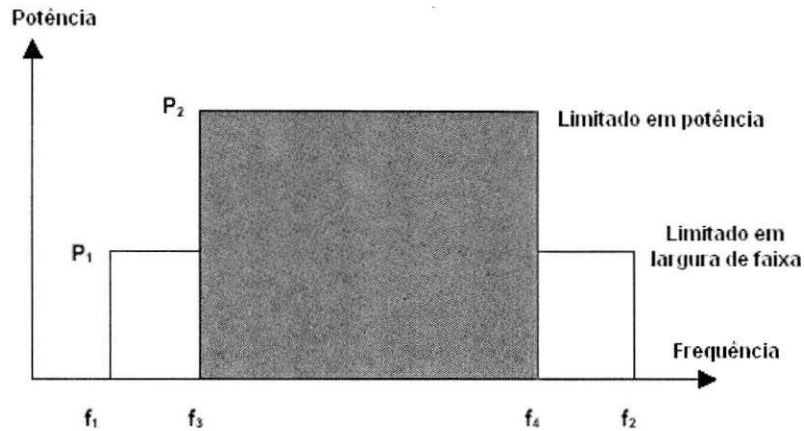


Figura 3.10 – Um *transponder* é limitado em largura de faixa e potência. Se sua largura de faixa máxima $f_2 - f_1$ é usada, ele é dito ser limitado em largura de faixa e pode transmitir na potência P_1 . Se sua potência máxima P_2 é usada, ele é dito ser limitado em potência e pode transmitir sobre uma largura de faixa de $f_4 - f_3$.

3.7 Links de transmissão

No projeto de um sistema de satélites, todas as condições paramétricas para que uma comunicação entre estações terrestres seja realizada por meio do satélite, devem ser otimizadas. A estação terrestre que transmite os sinais no *link* de subida deve proporcionar a densidade de fluxo de potência de entrada (IPFD) necessária, na entrada do *transponder*. Igualmente, no *link* de descida, do satélite para a Terra, é necessário usar a potência de saída do *transponder* (EIRP) para gerar um sinal que seja discernível ao receptor.

As principais características destes caminhos seguidos pelo sinal são determinadas pelas características físicas de propagação das ondas de rádio através da atmosfera e do espaço, como mostrado na Figura 3.11.

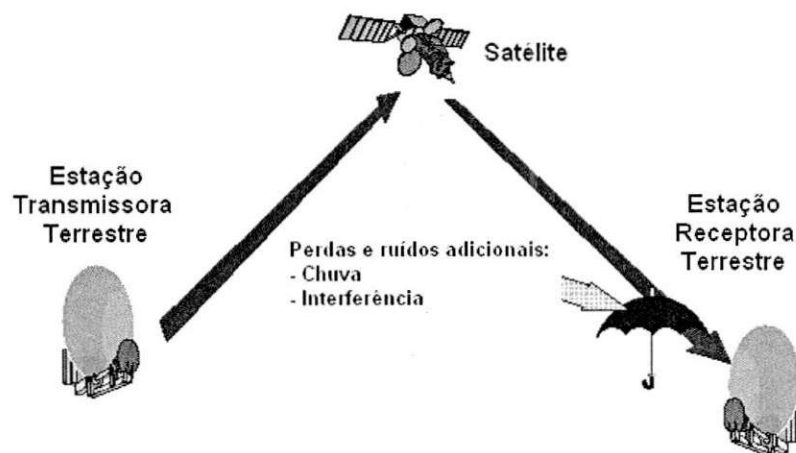


Figura 3.11 – Parâmetros presentes nos *links* de subida e descida.

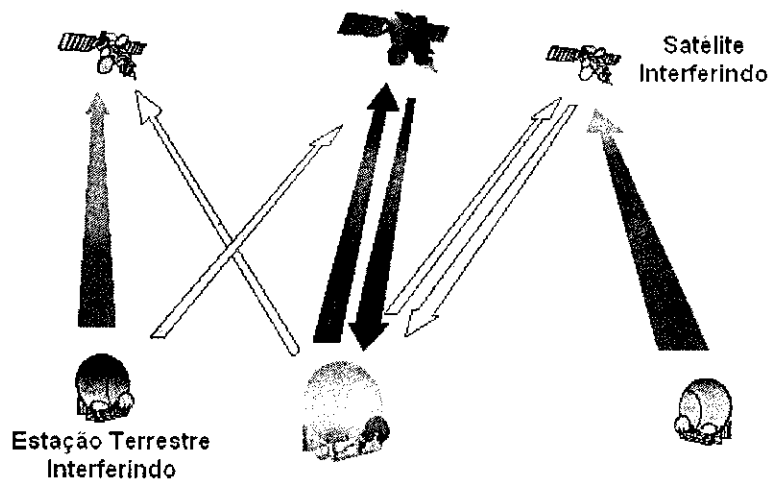


Figura 3.12 – Interferências introduzidas por estações terrestres nos *links* de subida e descida, podem comprometer o canal e devem ser consideradas no projeto destes sistemas.

Algumas perdas relacionadas a interferências entre estações podem comprometer a qualidade do sinal propagado, como observamos na Figura 3.12.

Na concepção de um *link*, a potência transmitida pela estação terrestre, deve ser suficiente para estar à altura da taxa de dados, superar as perdas no caminho somadas aos ruídos e interferências, superar a presença de chuva (ruído adicionado) e a interferência dos sinais recebidos de satélites próximos assim como estabelecer um dimensionamento para antenas de recepção (antenas pequenas requerem uma maior potência de transmissão).

A banda de radiofrequência requerida ao funcionamento otimizado do *link* é proporcional à taxa de dados, depende da técnica de modulação utilizada, e é limitada a fim de reduzir a interferência entre satélites adjacentes.

Com respeito às antenas utilizadas, seu projeto tem como objetivos, obter o ganho necessário ao bom funcionamento do *link* além de tentar reduzir a radiação de sinal fora do eixo de direcionalidade, evitando as interferências entre satélites vizinhos.

4. Arquitetura Básica dos Sistemas DVB-RCS

Os principais elementos do sistema DVB com canal de retorno via satélite (DVB-RCS) são mostrados na Figura 4.1. A arquitetura mostrada é de uma rede em estrela, na qual uma estação *Hub* controla os terminais sobre o canal direto, ou *link* ilimitado, e os terminais compartilham o canal de retorno ou *link* delimitado.

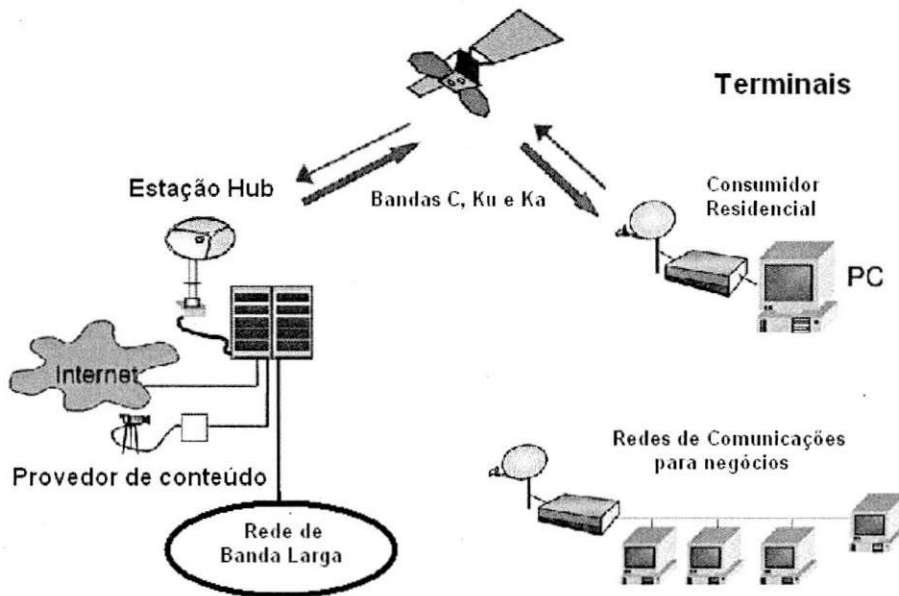


Figura 4.1 – Diagrama de elementos básicos de um sistema DVB-RCS.

A estação *Hub* continuamente transmite sinais no *link* direto empregando TDM enquanto que os terminais, que precisam compartilhar os recursos do mesmo canal de retorno (canal de interatividade), utilizam MF-TDMA. Observamos neste ponto que o termo “estação *Hub*” se confunde com RCST, isto porque algumas estações *Hub* funcionam como RCSTs, principalmente em se tratando da comunicação estabelecida no canal de interatividade. Vê-se na Figura 4.1 que a estação *Hub* trata apenas de sinais que serão transmitidos no *link* direto, entretanto existem casos específicos em que essas estações podem ser utilizadas para gerenciar a transmissão dos sinais provenientes dos terminais dos usuários, funcionando neste caso, como RCSTs. Essa utilização é mais propícia em ambientes como grandes capitais, onde haverá uma grande concentração de terminais efetuando requisições ao sistema por meio do canal de retorno, neste caso, uma solução seria a adoção de uma estação *Hub* para manipular satisfatoriamente as requisições antes de enviá-las ao sistema.

4.1 Faixas de Operação

Os sistemas DVB-RCS podem operar nas bandas C, Ka e Ku, listadas na Tabela 4.1.

A banda C atualmente é usada em alguns sistemas VSAT que particularmente operam em áreas com forte incidência de chuvas que degradam a qualidade do *link* em altas frequências. A banda Ku é usada em transmissão de TV via satélite incluindo DVB-S, e em muitos sistemas VSAT.

A banda Ka é a mais nova banda a ser usada em sistemas DVB-S e DVB-RCS. As larguras de faixa usadas em um terminal num típico sistema DVB-RCS são mostradas na Figura 4.2. Em um sistema com banda C, um terminal terá as mesmas larguras de faixa para a interface de FI para operações VSAT, mas não serão as mesmas para o sinal de TV. Tipicamente o *link* de subida opera em 5.95 a 6.45 GHz e o *link* de descida em 3.7 a 4.2 GHz.

Banda utilizada	Direção do Link	Frequência (GHz)	Regiões*
C	Link de descida (Do espaço para Terra)	3.400 - 4.200	Mundialmente
		4.500 - 4.800	Mundialmente
	Link de subida (Da Terra ao espaço)	5.725 - 5.850	R1
		5.850 - 5.925	Mundialmente
Ku	Link de descida (Do espaço para Terra)	10.700 - 11.700	Mundialmente
		11.700 - 12.200	R2
		12.500 - 12.750	R1 e R3
	Link de subida (Da Terra ao espaço)	12.500 - 12.750	R1
		12.700 - 12.750	R2
		12.750 - 13.250	Mundialmente
		13.750 - 14.800	Mundialmente
Ka	Link de descida	37.5 - 40.5	Mundialmente
		24.75 - 25.25	R2 e R3
	Link de subida (Da Terra ao espaço)	27.0 - 27.5	R2 e R3
		27.5 - 31.0	Mundialmente

* Três regiões do mundo: R1: Europa, África e CEI; R2: As Américas; R3: Índia, Ásia, Austrália, Pacífico.

Tabela 4.1 – Alocações de radiofrequência para serviços de satélites fixos (FSS).

Os sistemas de banda Ka também têm as mesmas larguras de faixa da interface FI, mas as larguras dos *links* de subida e descida variam. Para sistemas DVB-RCS, um sistema de banda Ka pode atualmente usar a banda Ku no *link* de descida, isso porque muitos sistema de transmissão de TV que usam Ku estão em operação e uma seleção de banda do equipamento de recepção está disponível. A banda Ka é utilizada no *link* de subida, usualmente de 29.5 a 30.0 GHz.

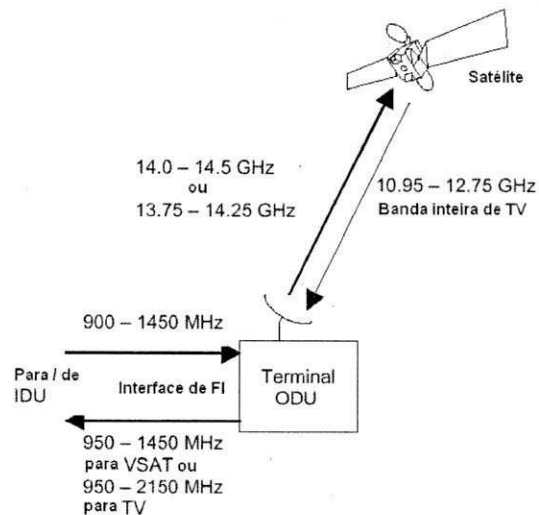


Figura 4.2 – Largura de faixa utilizada em terminais operando no sistema DVB-RCS.

4.2 Direção das Comunicações

Como visto anteriormente, os sistemas DVB-RCS permitem estabelecer uma comunicação em duplo sentido, ou seja, da estação *Hub* para os terminais (canal direto) e dos terminais para a estação *Hub* (canal de retorno). Neste caso, as estações *Hub* funcionam como RCSTs.

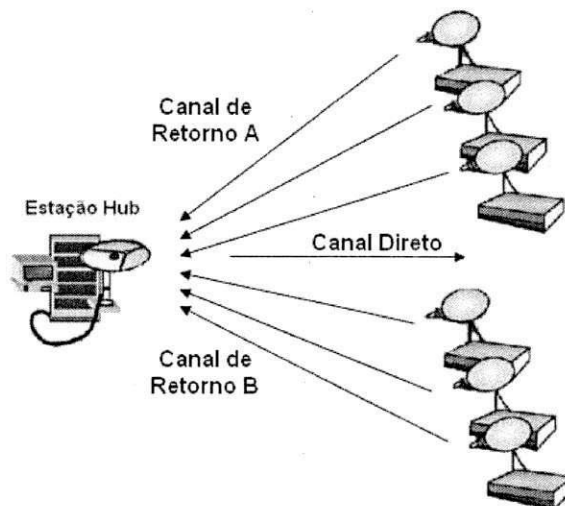


Figura 4.3 – Os dois caminhos das comunicações em sistemas DVB-RCS.

O canal direto comporta-se realizando a comunicação de um ponto a múltiplos pontos, pois neste canal, uma estação envia os dados para terminais localizados em lugares diferentes. Assim, comporta-se de maneira idêntica ao canal de transmissão direta em DVB-S e tem uma única

portadora que pode tomar a largura de faixa inteira do *transponder* (limitado em largura de faixa) ou usar a potência que dispõe o *transponder* (limitado em potência).

O compartilhamento dessa portadora é feito usando a técnica TDM, para a qual cada terminal tem alocada uma fatia de tempo, de modo que possa receber os sinais. As principais características do canal direto são:

- Esquema de modulação *Gray Coded QPSK*;
- Multiplexação por divisão no tempo (TDM);
- Taxa de bit configurável de aproximadamente 1 Mbit/s até 50 Mbit/s;
- *Frame* de acordo com as especificações DVB-S;

O canal de retorno é compartilhado por muitos terminais, mas agora, para a transmissão de sinais de controle ou mesmo comandos de interatividade que também utilizam a capacidade dos *transponders* dos satélites, transmitindo estes sinais em *bursts*, usando MF-TDMA. Assim, pode-se fazer com que muitos terminais possam transmitir simultaneamente para uma mesma estação *Hub*.

Devido ao fato de que os propósitos de utilização do canal de retorno são variados, a escolha dos parâmetros deste canal é variada. Suas principais características são:

- Esquema de modulação *Gray Coded QPSK*;
- Multiplexação MF-TDMA;
- Escolha dos seguintes esquemas de correção direta do erro (FEC): Viterbi, Reed-Solomon ou Turbo;
- Escolha de dois formatos de *burst* na camada física;
- Escolha de duas camadas de controle de acesso médio;

Os terminais não são completamente inoperantes no controle do sistema, eles podem alterar a frequência, a taxa de bit, a taxa de correção de erro, o comprimento do *burst*, ou todos estes parâmetros em todos os *bursts*. Como visto anteriormente, essa alocação de tempo para cada *burst*, é feita pelo NCC, sendo a alocação dinâmica, a mais vantajosa devido às constantes solicitações de mudanças de parâmetros de acordo com o nível de interatividade alcançado.

No sistema DVB-RCS, os RCSTs ou estações *Hub*, estão em pontos fixos da superfície terrestre, e como o satélite é geoestacionário, o tempo gasto pelo sinal para transitar tanto no *link* de subida como no *link* de descida é praticamente o mesmo. Já os *set-top boxes*, estão em pontos diferentes e possuem uma mobilidade muito maior que os RCSTs, logo, estes tempos podem variar significativamente (ver Figura 4.4). Estas diferenças de tempo não têm muito significado no *link* de descida (canal direto), mas no *link* de subida (canal de retorno) podem acarretar até mesmo a falha

de comunicação, isto porque o espaçamento temporal entre *bursts* gerados por terminais pode não ser suficientemente grande para evitar a sobreposição de *bursts* gerados por terminais que se encontram muito próximos. Uma forma de evitar essa superposição é tornar a fatia de tempo muito maior que o tempo alocado para cada *burst*, gerando assim um tempo de guarda que possa evitar estas colisões. Esse tempo de guarda, entretanto, deve ser escolhido de forma criteriosa, pois não carrega informação e consome recursos do satélite. Alguns satélites que utilizam TDMA empregam meios adicionais para ajustar a temporização e minimizar as discrepâncias entre os diferentes caminhos que o sinal pode percorrer, são eles:

- Cada terminal conhece suas coordenadas geográficas, com o uso de sistema GPS e pode calcular o tempo necessário para transmitir sinais *burst*.
- As estações *Hub* monitoram os tempos de chegada dos sinais *burst* e podem enviar sinais de correção de dados para terminais, caso seja necessário.

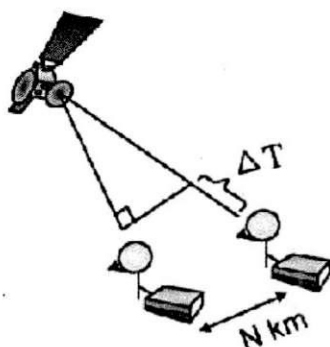


Figura 4.4 – Terminais localizados em lugares diferentes proporcionam diferenças de tempo entre os sinais que estes enviam por meio do *link* de subida.

Considerando a possibilidade da existência do erro de temporização, podendo haver sobreposição dos *bursts* de terminais diferentes, as estações *Hub* no sistema DVB-RCS, são equipadas com um ou mais receptores de sinais de satélites de Sistema de Posicionamento Global (GPS). Este sistema possui uma elevada precisão, pois possui quatro relógios atômicos, com uma resolução de até um nanosegundo. Ao receber estes sinais, as estações *Hub* enviam até a rede o tempo de referência calculado a partir daquele mostrado pelo sinal recebido do sistema GPS.

4.3 Sinais de Sinalização e Controle

Como visto anteriormente, um RCST pode enviar sinais que têm a função de controlar especificamente o funcionamento adequado da rede, chamados de sinais *burst*. Os sinais *burst* podem ser de quatro tipos:

- Sinalização comum no canal (CSC);
- Aquisição (ACQ);
- Sincronização (SYNC);
- Tráfego (TRF);

São vistas a seguir, as características de cada um destes sinais de forma mais detalhada, apresentando as partes integrantes de suas estruturas.

O *burst* de sinalização comum no canal (CSC) permite manipular o procedimento de *logon* do terminal na rede, este também, utiliza-se do protocolo Aloha, para proporcionar a comunicação do terminal com a rede de satélites. Assim, um terminal pode utilizar este *burst* para informar à rede sua identidade durante o *logon*. Seu formato é mostrado a baixo e é composto de:

- Um preâmbulo de tamanho variável para a detecção do *burst*;
- Campo de descrição das capacidades do terminal, incluindo: capacidade do RCST (24 bits), endereço MAC do RCST (48 bits) e 40 bits reservados para uso futuro;

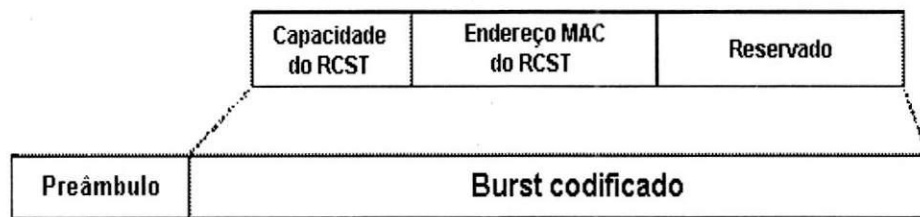


Figura 4.5 – Formato do *burst* de sinalização comum no canal (CSC).

O *burst* de Aquisição (ACQ), cujo formato é mostrado na Figura 4.6, é utilizado pelos terminais para alcançar a sincronização antes de operacionalmente acessar a rede. O formato desse *burst* é basicamente composto de um preâmbulo e uma seqüência de freqüências, ambas fornecidas aos terminais RCST pela tabela de comparação de fatias de tempo (TCT). Essa tabela contém informações relacionadas às propriedades dos tipos de fatias de tempo tais como TRF com células ATM, TRF com pacotes MPEG2-TS, CSC, SYNC e ACQ.

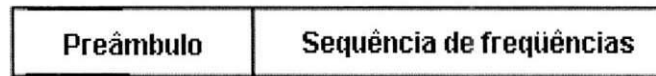


Figura 4.6 – Formato do *burst* de aquisição (ACQ).

O *burst* de sincronização (SYNC) é usado pelo terminal para manter a sincronização e enviar dados de controle para o NCC por meio da rede. Seu formato é composto de um preâmbulo e um controle codificado de acesso ao satélite (SAC), ambos fornecidos aos terminais RCST pela tabela de comparação de fatias de tempo (TCT), como no caso dos *bursts* ACQ.

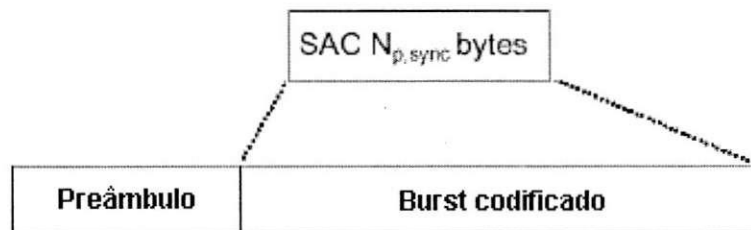


Figura 4.7 – Formato do *burst* de sincronização (SYNC).

Os *bursts* de tráfego (TRF) são utilizados para carregar dados para as estações *gateway* ou para outros RCSTs, comportam-se como verdadeiros invólucros de dados. Estes *bursts* podem utilizar para tal finalidade, células ATM ou pacotes MPEG2-TS, a utilização de um ou de outro é informada pelo RCST ao NCC pelo *burst* CSC.

Os *bursts* com células ATM são opcionalmente utilizados no canal de retorno em que, neste caso, as células possuem 53 bytes cada, mais um prefixo.

Os pacotes MPEG2 têm sido amplamente utilizados em DVB, não somente para a transmissão de áudio e vídeo digitais, como também para a transmissão de sinais de controle como neste caso, em que o fluxo de dados MPEG2 comporta-se como um invólucro para os *bursts* de tráfego. Desta forma, o sistema DVB-RCS, ao utilizar-se do sinal MPEG2 para a transmissão deste *burst*, evita os problemas de compatibilidade entre arquiteturas de redes diferentes, haja visto que os dados estarão contidos em pacotes de 188 bytes de tamanho que utilizam protocolos independentes da rede, ou seja, protocolos de alto nível. Como mostrado na Figura 4.8, tem-se 182 bytes que representam os dados em si e 6 bytes alocados para o cabeçalho. Esses dados contidos nos 182 bytes adjacentes podem conter:

- Endereçamento IP;
- Informação codificada em MPEG2, também conhecida como “MPEG2 nativo”;
- Outros bits que controlam a utilização dos protocolos TCP e UDP;

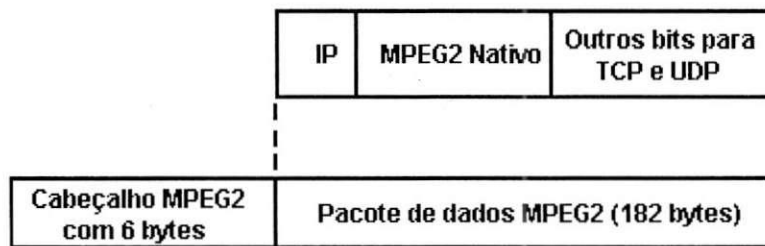


Figura 4.8 – Formato do *burst* de tráfego (TRF), neste caso, as informações são encapsuladas nos pacotes de dados MPEG2.

4.4 Aspectos de Segurança

A segurança do sistema DVB-RCS proporciona um modo de proteção dos dados que trafegam na rede, evitando assim seu uso indevido. Existem, para este sistema, quatro níveis de segurança que podem ser aplicados. São eles:

- Escalonamento comum DVB no *link* direto;
- Escalonamento individual de usuário na rede interativa de satélites. Isso é feito tanto no *link* direto como no *link* de retorno;
- Segurança por IP na rede;
- Mecanismos de segurança das aplicações de camadas mais altas;

O IPSec é um método padrão que forma a base de provimento de segurança, integridade e autenticidade para informações que trafegam em redes que utilizam o protocolo IP. IPSec não é uma solução específica, mas uma inovação desenvolvida e liberada pela Força Tarefa de Engenharia da Internet (IETF). Essa capacidade que possui o sistema DVB de proporcionar mecanismos de segurança que rodam sobre a camada de dados do *link*, isola o sistema de satélites desta tarefa adicional. O *link* direto da rede interativa de satélites é baseado na especificação DVB/MPEG2-TS, o mecanismo de escalonamento comum DVB pode assim ser usado, isso porque ele acrescenta uma proteção adicional ao controle do fluxo de dados.

Um roteador em DVB-RCS pode suportar três principais modos de uso do IPSec para colocar segurança na rede, são eles:

- **Autenticação:** Um cabeçalho de autenticação é adicionado entre o cabeçalho IP e o cabeçalho da camada 4 (TCP,UDP). Isso provê autenticação e integridade de um datagrama IP, incluindo mais de um cabeçalho IP.

- **Encriptação no modo de transporte:** O pacote de dados, incluindo o cabeçalho da camada 4, é encriptado. Isto produz confiança (ou privacidade) em adição à autenticação e integridade. O cabeçalho IP original não é modificado, isso permite que alguém que realize uma análise de tráfego descubra quem está se comunicando com quem.
- **Encriptação no modo túnel:** Neste caso, ambos, o cabeçalho IP e o pacote de dados são encriptados. Um novo cabeçalho IP que identifica os servidores *proxies* utilizadores do IPSec é adicionado. Esta solução protege contra a análise de tráfego, entretanto alguns serviços especiais que utilizam como base o cabeçalho IP não são possíveis de serem realizados devido à encriptação. Este modo de uso do IPSec é mais utilizado em componentes de rede como roteadores.

Um terminal de sistema DVB-RCS também é capaz de suportar os mecanismos de segurança presentes na camada do *link* e definidos por especificações DVB. A segurança é tratada em níveis mais altos do que aqueles vistos por um terminal individual. Assim, um terminal pode manipular vários usuários com seus próprios direitos de segurança. Um mecanismo de autenticação irá checar o nome do usuário e senha fornecidos pelo mesmo ou pelo seu cartão de acesso. Existe sempre um usuário base individual para os quais os dados são transmitidos. Cada usuário possui uma palavra de controle para os *links* direto e de retorno, isso permite que terminais ou *Hubs* impeçam ou não a passagem de dados indesejados.

A autenticação é realizada em alguns casos por um PC conectado ao terminal, o terminal assim não necessita ter uma implementação especial. Entretanto se o terminal contém um cliente *proxy*, o *proxy* será capaz de autenticar-se no *Hub*. Isto significa que o servidor de autenticação pode ser implementado no *Hub* que administra a autenticação para cada usuário.

O mecanismo de segurança consiste de dois subsistemas separados:

- Um conjunto de mensagens MAC usadas para autenticação e reconhecimento de chaves entre o *Hub* e um terminal. Estas mensagens são usadas para negociação de chave de encriptação e suas atualizações;
- Encriptação e decriptação dos pacotes de dados que trafegam entre o NCC e o terminal;

Quando uma sessão está sendo estabelecida e antes dos pacotes de dados serem transferidos, um dos três pares (requisição - resposta a mensagens MAC) é utilizado para gerar uma chave específica de sessão para o pacote associado com a sessão.

A chave de sessão é secretamente compartilhada entre o *Hub* e o terminal. Mesmo se cada mensagem MAC for interceptada, as propriedades criptográficas do protocolo asseguram que alguém que as interceptar não pode determinar o valor da chave da sessão. Isto é alcançado, pelo uso de um protocolo de chave pública entre o terminal e o *Hub*, normalmente a chave *Diffie-Hellman*, este protocolo também é usado para a comunicação entre o NCC e o terminal.

Os protocolos de intercâmbio de chaves e a encriptação de fluxos de dados são baseados em um conjunto de funções criptográficas primitivas. As funções e seus tamanhos de chaves associadas podem ser facilmente modificadas, isto desencoraja a possíveis tentativas de ataques que possam ser ameaçadoras.

5. Avaliação e Adaptação ao SBTVD

A idéia de criação e implementação de um Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) nasceu, não somente, de uma manifestação do conhecimento dedicado ao bem-estar humano proposta por cientistas, pesquisadores e engenheiros brasileiros, mas também de proporcionar à população um maior acesso à informação, ao entretenimento, à Internet e a diversas inovações tecnológicas que vem se desmembrando ao longo do tempo.

Por esse motivo, uma avaliação das questões pertinentes às situações sociais, econômicas, tecnológicas, dentre outras, se faz necessária, a fim de determinar até que ponto a nação encontra-se preparada para a transmissão de sinais digitais de TV.

Observando toda a arquitetura que foi explicada anteriormente neste trabalho e que estabelece o sistema desenvolvido para o canal de interatividade utilizado no padrão europeu de TV digital, nota-se uma enorme e complexa infra-estrutura empregada e uma necessária avaliação de sua viabilidade de aplicação seja ela total ou parcial ao SBTVD, como feito a seguir.

5.1 Analisando a Realidade Brasileira

O Brasil é um país com aproximadamente 182 milhões de habitantes e uma área geográfica que a abrange mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados. A Nação se encontra entre as dez maiores e mais representativas economias do planeta, sendo um dos mercados consumidores mais procurados pelas grandes potências mundiais.

Apesar de ainda ter um dos maiores índices de analfabetismo do mundo e uma educação que necessita de sérios cuidados, a busca por novas tecnologias e formas de acesso à informação tem crescido bastante. As escolas, o comércio, as pessoas físicas e jurídicas têm demonstrado um interesse concreto por tecnologia. O SBTVD, segundo sua proposta, tende a facilitar a busca por

informação e entretenimento, unindo uma televisão de alta definição com recursos adicionais tais como: acesso à Internet, interatividade com serviços bancários, com o governo brasileiro, etc.

O Quadro I, mostra de modo quantitativo e estatístico um pouco dessa busca por serviços de tecnologia com qualidade e em pormenores a situação sócio-econômica brasileira.

Quadro I – Panorama brasileiro de acesso à tecnologia.

Brasil	2002	2003	2004
População*	176.391.015	178.985.306	181.586.030
Área total *	8.514.215,3 km ²		
PIB R\$ milhões	1.346.028	1.556.182	1.766.621 ¹
PIB Cresc. anual real	1,93%	0,54%	4,9%***
Renda per capita	R\$ 7.631	R\$ 8.694	R\$ 9.014
PIB per capita (Cresc. anual real)	0,44%	-0,91%	3,7%
Telefones Fixos em Operação (milhões)	38, 80	39,2	40**
Celulares em Operação (milhões)	34,88	46,37	65,61
TV por assinatura (milhões assinantes)	3,52	3,55	3,77
Usuários de Internet Residenciais (milhões)	14,3	20,5	17,9
Conexões de Banda Larga (Milhões)	0,7	1,2	2,26

*Fonte IBGE, população estimada para 1º de julho. População 2005 de 184.184.264.

** Estimado pelo website Teleco *** o valor de 5,2% foi corrigido pelo IBGE em jun/05

¹o valor de 1.769.202 foi corrigido pelo IBGE em jul/05

Algo a ser verificado neste quadro, em especial, é uma pequena evolução, porém significativa da procura por serviços como TV por assinatura e conexões de banda larga. Considerando que a idéia do SBTVD é a de viabilizar a transmissão de um sinal digital em TV aberta com possíveis variações e restrições de acesso, essa verificação da procura pela TV por assinatura é interessante pois ela demonstra que o público brasileiro tem buscado, apesar dos gastos relacionados a este serviço, um sistema de televisão com qualidade de imagem e seletividade de programação.

A TV por assinatura conquistou uma ampla abrangência, devido a investimentos realizados pelo setor privado, representado pelas operadoras, que visam conquistar, cada vez mais, a satisfação de seus clientes. Além disso, a movimentação financeira realizada por estas empresas alcançou em 2004 valores milionários, além de gerar cerca de oito mil empregos diretos. No Quadro II observa-se, segundo dados da Anatel coletados em junho de 2005, de que forma o público brasileiro tem sido alcançado por tais investimentos.

Quadro II – Abrangência da TV por Assinatura no Brasil.

	Em Instalação	Em Operação	Total
TV a cabo	71	215	286
MMDS	18	66	84
TVA	-	25	25
DTH	1	9	10
Total	90	315	405

Municípios e População atendida

	Nº de municípios atendidos	População atendida
Apenas MMDS	202	12.624.306
Apenas TV a cabo	167	17.486.444
MMDS e TV a cabo	116	61.459.447
Total	485	91.570.197
% Brasil	8,8%	52,4%

Relativamente às conexões de banda larga, estas tiveram sua participação aumentada principalmente pelo uso da Internet por consumidores residenciais, instituições de ensino, redes de negócios e também pelo uso de sistemas de teleconferência. As instituições de ensino têm utilizado os serviços de banda larga para aproximar os alunos de uma nova realidade: “conhecimento à distância”, as redes de negócio têm se valido da velocidade destes sistemas para realização de manipulações financeiras a nível nacional e internacional e as redes de teleconferência já são uma realidade ao dia a dia, permitindo que pessoas que estão em diferentes pontos do planeta, estabeleçam uma reunião sobre algum tema específico. Considerando o uso domiciliar da Internet, o Quadro III mostra as estatísticas brasileiras, segundo o IBOPE.

Quadro III – Usuários domiciliares da Internet no Brasil.

	Usuários 2004		Usuários 2005	
	Ativos	Com acesso	Ativos	Com acesso
Janeiro	12.093.394	20.551.168	10.656.901	17.945.437
Fevereiro	12.484.475		11.032.316	
Março	12.269.533		11.030.724	
Abril	11.913.640	19.760.497	11.378.029	18.336.044
Maiο	11.681.163		11.517.361	
Junho	11.765.602		11.548.170	
Julho	11.616.420	19.311.854	11.434.547	18.336.044
Agosto	12.019.552			
Setembro	11.992.791			
Outubro	11.621.377	18.660.650		
Novembro	11.444.102			
Dezembro	10.865.234			

Segundo o PNAD 2003 (IBGE), 11,4% dos domicílios brasileiros tinham um computador com acesso a internet em 2003. Este percentual correspondia a um total de sete milhões de domicílios ou 19,3 milhões de pessoas. Vê-se no Quadro IV, uma avaliação econômica das famílias brasileiras que possuem acesso à Internet.

Quadro IV – Percentual de domicílios com acesso à Internet por classe de rendimento mensal familiar.

Salário Mínimo	Total	Até 10	10 a 20	Mais de 20
Microcomputador com acesso à Internet	11,4	5,1	46,0	71,4
Microcomputador	15,3	8,2	56,3	78,3
Telefone Fixo	50,8	44,9	90,9	96,2

Observa-se neste quadro, um grande desafio ao SBTVD, ou seja, proporcionar um acesso à Internet de baixo custo e com qualidade para as camadas financeiramente menos favorecidas da sociedade, por meio de redes públicas de acesso, tendo em vista que o SBTVD comportar-se-á como um sistema multifuncional, abrangendo os serviços de TV digital propriamente dita e criando condições de acessibilidade à Internet e demais serviços.

A criação de uma rede pública de acesso à Internet pode, segundo a proposta apresentada, possibilitar o acesso à Internet e a sistemas de tele-educação. Poderia um estudante que mora, por exemplo, próximo à sua escola que possui um nó de rede do sistema SBTVD, interagir diretamente com o sistema por meio de um computador instalado em sua residência.

Ocorre, uma verdadeira interação entre o SBTVD e o computador, o Quadro V explicita, de modo quantitativo, a presença da televisão e do computador nos lares brasileiros.

Quadro V – Percentual de domicílios por Estado com Computador e Televisão.

	Micro computador	Televisão
Brasil	15,3	90,0
Distrito Federal	30,4	96,4
Rio G. do Sul	17,1	93,7
São Paulo	24,6	96,1
Santa Catarina	20,0	95,5
Rio de Janeiro	20,7	98,0
Paraná	17,9	91,1
Mato G. do Sul	11,6	91,4
Acre*	10,3	89,7
Goiás	9,7	90,1
Rondônia *	8,9	89,1
Espírito Santo	14,5	91,9
Amazonas *	8,8	92,9
Roraima *	8,6	88,3
Minas Gerais	12,7	90,4
Amapá *	7,1	88,8
Mato Grosso	10,2	80,2
Pará *	6,8	87,5
Pernambuco	7,4	84,8
Sergipe	8,6	87,9
Rio Grande do Norte	7,6	85,9
Tocantins	5,4	72,9
Paraíba	6,6	87,7
Bahia	6,4	77,3
Ceará	6,1	83,9

Alagoas	5,4	79,3
Maranhão	3,8	69,7
Piauí	3,3	69,9

* apenas área urbana
 Fonte: PNAD (IGBE) 2003

A estrutura do canal de interatividade no padrão DVB-RCS utiliza uma grande rede de satélites geoestacionários e estações terrestres de comunicação, além de um centro de controle da rede, logo, a infra-estrutura deste sistema torna-se demasiadamente custosa. No Brasil, há em operação alguns satélites desenvolvidos no país, entretanto, a grande maioria das empresas nacionais faz uso de satélites internacionais, o que limita bastante a implementação do canal de interatividade via satélite. Seria necessário um investimento elevado no desenvolvimento de satélites brasileiros ou na utilização de satélites estrangeiros que pudessem operar no território brasileiro com a finalidade de atender a grande demanda de requisições inerentes ao canal de interatividade da TV digital.

Nos Quadros VI e VII, segundo dados da Anatel e empresas do ramo, vê-se como as empresas brasileiras exploram os satélites nacionais e internacionais, observe a grande diferença existente. Os satélites nacionais e internacionais não se equiparam quanto às suas requisições de acesso.

Quadro VI – Empresas detentoras do direito de exploração de satélite brasileiro.

Empresa	Satélite	Banda	Posição Orbital	Em Operação
Hispamar	AMAZONAS	C e Ku	61,0° W	Sim
Loral Skynet	ESTRELA DO SUL	Ku	63,0° W	Sim
Star One	BRASILSAT-B1	C e X	70,0° W	Sim
	BRASILSAT-B2	C e X	65,0° W	Sim
	BRASILSAT-B3	C	84,0° W	Sim
	BRASILSAT-B4	C	92,0° W	Sim
	STAR ONE-C1	Ku e Ka	65,0° W	Não
	Não Definido	Ku	70° W	Não

Quadro VII – Empresas detentoras do direito de exploração de satélite estrangeiro.

Empresa	Satélite	Banda	Posição Orbital	Em Operação
Embratel	NAHUEL 1	Ku	72,0° W	Sim
Eutelsat	W1	Ku	10,0° W	Sim
	ATLANTIC BIRD 1	Ku	12,5° W	Sim
	ATLANTIC BIRD 2	Ku	8,0° W	Sim
	ATLANTIC BIRD 3	C e Ku	5,0° W	Sim
Galaxy	GALAXY II R	Ku	95,0° W	Sim
	GALAXY III C*	Ku	95,0° W	Sim
Hisparmar	HISPASAT - 1C	Ku	30,0° W	Sim
	HISPASAT - 1D	Ku	30,0° W	Sim
Inmarsat	INMARSAT - 3 AOR EAST	L e C	15,5° W	Sim
	INMARSAT - 3 AOR WEST-2	L e C	54,0° W	Sim
Intelsat	INTELSAT 705	C E Ku	50,0° W	Sim
	INTELSAT 801	C	31,5° W	Sim
	INTELSAT 805	C	55,5° W	Sim
	INTELSAT 901	C	18,0° W	Sim
	IS 903	C	34,5° W	Sim
	IS 905	C	24,5° W	Sim
	IS 907	C	27,5° W	Sim
Key TV	PAS-3	C e Ku	34 W	Sim
Loral Skynet	TELSTAR 12	Ku	15,0° W	Sim
Nahuelsat	NAHUEL 1	Ku	72,0° W	Sim
New Skies	NSS-7	C e Ku	21,5° W	Sim
	NSS-806	C e Ku	40,5° W	Sim
	NSS-8	C e Ku	105,0° W	Não
Panamsat	PAS 1R	C e Ku	45,0° W	Sim
	PAS-9	Ku	58,0° W	Sim
Satmex	SOLIDARIDAD 2	Ku	113,0° W	Sim
	SATMEX 5	C e Ku	116,8° W	Sim
SES	AMC - 4	Ku	101,0° W	Sim
	AMC - 12	C	37,5° W	
Sky	PAS-3R*	Ku	43,0° W	
	PAS-6B	Ku	43,0° W	Sim
Star one	ANIK F1	Ku	107,3° W	Sim

A denominação das bandas de transmissão e suas respectivas faixas de frequência utilizadas no Brasil encontram-se no Quadro VIII.

Quadro VIII – Bandas utilizadas nos sistemas de satélites brasileiros.

Banda	Terra-espaço	espaço-Terra
C	5.850 - 6.425 MHz	3.625 - 4200 MHz
Ku	13,45 - 14,50 GHz	10,7 - 11,2 GHz 11,45 - 12,20 GHz
X	7.965 - 8.025 MHz	7.315 - 7.357 MHz
Ka	29,5 - 30,0 GHz	19,7 - 20,2 GHz
L	1.626,5 - 1.645,5 MHz 1.646,5 - 1.652,5 MHz	1.525 - 1.544 MHz 1.545 - 1.551 MHz 1.574,4 - 1.576,6 MHz

A viabilidade de utilização deste sistema de interatividade via satélite no SBTVD distancia-se da realidade brasileira por necessitar de uma enorme infra-estrutura e investimentos a serem realizados tanto pelo setor público como privado.

A construção de satélites e seu lançamento tornariam muito custosa a implantação de um sistema, sem falar que se fossem utilizados satélites estrangeiros para sanar o problema inicial de infra-estrutura, seria muito complicado um controle rígido e necessário que necessita o sistema, no que diz respeito ao controle e sincronismo da rede de distribuição de sinais digitais tanto no canal direto, como no canal de retorno ou interativo.

5.2 Análise de Aspectos

Dada a grande infra-estrutura exigida por um sistema de satélites, a verificação de seus vários aspectos de implantação se faz necessária. Nesta seção, são analisados esses aspectos.

5.2.1 Aspectos técnicos

Sistemas de transmissão que utilizam satélites precisam passar por uma séria avaliação de aspectos técnicos de viabilidade de implantação, haja visto que, uma vez desenvolvido, o sistema deve funcionar como esperado a fim de evitar enorme desperdício de recursos e tempo de pesquisa. Tais aspectos são, principalmente:

- Alcance;
- Segurança;
- Velocidade (taxa de transferência dos dados);
- Capacidade e escalabilidade.

Em se tratando de um sistema via satélite geoestacionário, o quesito alcance tem se mostrado cada vez mais superável, os sistemas de TV digital e em especial o DVB possui esquemas de comunicação direta entre as unidades de *set top boxes* e o próprio satélite, o cuidado que deve ser tomado na maioria das vezes é de um correto posicionamento da antena de captação dos terminais que deve estar devidamente posicionada em direção ao satélite. A grande abrangência geográfica por ele proporcionada, faz do satélite um meio de comunicação muito procurado por diversos tipos de emissoras comerciais, dentre outros.

A ITU dividiu o espaço geoestacionário em 180 posições orbitais cada uma separada da outra por um ângulo de 2° , o Brasil pleiteou 19 posições, e atualmente sete se encontram designadas para uso de operadores brasileiros. Na Figura 5.1, vê-se como é o posicionamento de um satélite geoestacionário.

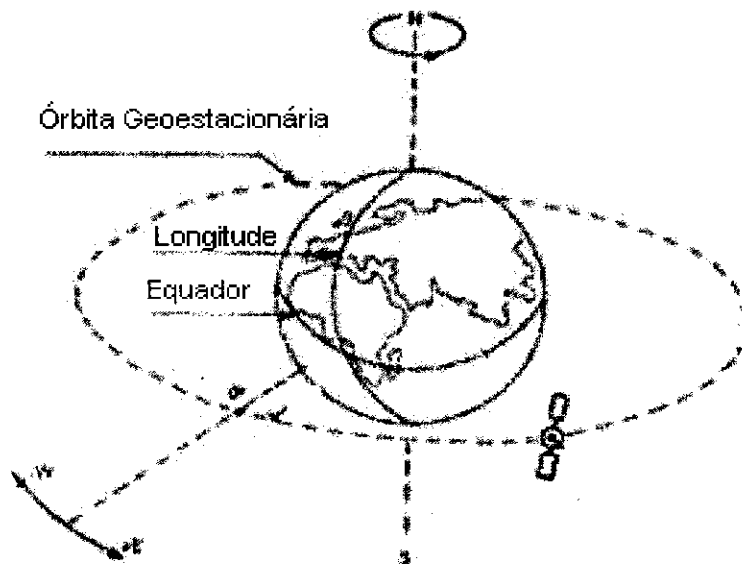


Figura 5.1 – Posicionamento de um satélite geoestacionário em órbita terrestre.

O fato da cobertura do satélite ser muito grande favorece a chegada dos sinais a algumas comunidades rurais, ou de difícil acesso para os meios convencionais de transmissão como o terrestre.

No que diz respeito à segurança, o sistema DVB possui mecanismos de acesso restrito ao sistema de satélite, como foi descrito anteriormente, isso sem falar da criptografia empregada nos dados que estão sendo transmitidos.

As taxas de transmissão do sistema DVB podem alcançar até 38 Mbits/s por canal, isso no *link* de descida, entretanto como se faz uso do *link* de descida também para o canal de interatividade, essa taxa de transmissão mostra-se razoável, haja vista que no canal direto, informações que fariam uso do canal de interatividade no sentido Provedor de Serviços – Telespectador, podem ser transmitidas evitando um uso desnecessário do mesmo.

Como o sistema DVB-RCS faz uso de MF-TDMA, o crescimento do número de terminais deve ser levado em conta, isto porque haverá limitações na relação espectro-tempo. Assim, a densidade de utilização de terminais em determinada área de cobertura do sistema deve ser controlada. Algumas vezes é necessária uma estação *Hub* para conter a quantidade de requisições inerentes às grandes capitais que utilizam este sistema.

5.2.2 Outros aspectos

Segundo os dados mostrados anteriormente, vê-se que a TV Digital por assinatura já ocupa uma parcela, até certo ponto, significativa do mercado brasileiro de televisão, entretanto ainda se distancia da TV analógica aberta, isto por conta do preço que se tem que pagar pela qualidade dos serviços oferecidos pelas operadoras. A criação de um sistema de TV Digital em rede aberta como é almejado, necessita de uma grande infra-estrutura tecnológica, como o aumento considerável de utilização dos *links* de distribuição de sinais, principalmente nas bandas Ku e Ka, já que os satélites brasileiros utilizam em sua grande maioria a banda C, construção de NCC responsáveis pela sincronização, instalação de estações *gateway* em alguns pontos, dentre outros investimentos.

Uma das principais metas do SBTVD, sempre realçada em sua proposta inicial, é a de proporcionar o acesso da população de baixa renda à TV Digital de alta definição, mas não apenas isso, o público seria abordado por serviços de redes públicas tais como a Internet, sistemas governamentais, e também teria acesso a redes privadas como as redes bancárias dentre outras. Nas regiões periféricas das grandes capitais, onde reside uma grande quantidade de pessoas de baixa renda per capita, esse serviço poderia ser de grande valia para até mesmo, proporcionar educação a distância, comunicação com diferentes regiões do planeta, etc. Nessas regiões, muitas vezes, existe uma grande concentração de edifícios. Os usuários de TV analógica convencional, seriam impulsionados a adquirirem uma unidade de conversão dos sinais digitais de TV para analógicos, esse aparelho é vendido na Europa ao preço médio de 160 euros, porém essa migração deveria acontecer é claro, de modo gradual.

Essa concentração de edificações em grandes cidades ou capitais também é um detalhe que deve ser considerado, entretanto, têm se contornado este problema pela distribuição de sinais para cada usuário por meio de sistemas que manipulam um grupo de usuários em vez de um usuário em

particular. No que diz respeito a obstáculos como prédios, casas, dentre outros, o sistema de satélite não tem sofrido muito dano em virtude de sua posição estratégica, porém, é válido ressaltar que, a reflexão de sinais poderá, ainda assim, causar fantasmas que podem gerar erros de temporização ou sincronismo de um terminal em relação à rede.

6. Conclusões

Em face de tamanha infra-estrutura necessária ao sistema DVB-RCS, a implantação do mesmo, total ou parcialmente, deveria passar por uma série de modificações com o intuito de se adequar às condições técnicas e sócio-econômicas brasileiras. Na situação em que se encontra o Brasil, seria praticamente impossível a operação de um sistema como esse em rede aberta devido a enormidade de requisições que seriam realizadas ao sistema, sendo necessários investimentos para colocá-lo no ar e mantê-lo funcionando adequadamente. Entretanto, vale salientar que o sistema de TV por assinatura atualmente em operação no Brasil é o DVB-S.

Uma vantagem, é que o sistema apresentado tem uma grande quantidade de recursos tecnológicos que poderiam ser explorados em larga escala tanto pelo governo, como pela sociedade e iniciativa privada.

7. Sugestões para trabalhos posteriores

O sistema DVB é o resultado de uma ampla quantidade de conhecimento acumulado ao longo do tempo. Destacaria como pontos fortes deste sistema e que poderiam ser mais bem explorados os esquemas de correção de erro, os formatos dos sinais *burst*, o esquema de endereçamento MAC e o sistema IPsec.

Além dos já citados, poder-se-ia incluir a variação de parâmetros de transmissão no sistema de satélites face às mudanças ou alterações climáticas e como estas alterações poderiam influir no desempenho do sistema, face ao esquema de modulação utilizado.

8. Referências Bibliográficas

[1] ETSI EN 301 790 Digital Video Broadcasting (DVB), Interaction channel for satellite distribution systems. European Standard (Telecommunications series) V 1.4.1 (2005-04).

[2] ETSI EN 300 744 Digital Video Broadcasting (DVB), Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, European Standard (Telecommunications series) V 1.2.1 (1999-01).

[3] Ulrich Reimers, DVB - The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting 2 edition - Springer, 2005.

[4] M Brady, M Rogers, Digital Video Broadcasting, Return Channel via satellite (DVB-RCS), Background Book, Nera Broadband Satellite AS (NBS), 2002.

[5] Development of Digital Television in the European Union Final Report, June 2000.

[6] Website do Teleco: <http://www.teleco.com.br>

[7] Website: <http://www.watinternational.com/page/page/1221831.htm>