



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
INFORMÁTICA**

**GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES PLANEJADAS EM
REDES MÓVEIS**

José Carlos Mota

Campina Grande - PB.
Dezembro de 1997

José Carlos Mota

Gerenciamento de Desconexões Planejadas em Redes Móveis

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Informática da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Ciências da Computação
LINHA DE PESQUISA: Redes Móveis (*Mobile Networks*)

Djamel Fawzi Hadj Sadok, PhD
Orientador (DI-UFPE)¹

Campina Grande - PB.
Dezembro de 1997

¹ Professor Adjunto do Departamento de Informática da Universidade Federal de Pernambuco



M917g Mota, José Carlos.
Gerenciamento de desconexões planejadas em redes móveis
/ José Carlos Mota. - Campina Grande, 1997.
89 f.

Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade
Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1997.

Referências.

"Orientação : Prof. Dr. Djamel Fawzi Hadj Sadok".

1. Redes de Computadores. 2. Redes Móveis. 3.
Dissertação - Informática. I. Sadok, Djamel Fawzi Hadj. II.
Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III.
Título

CDU 004.7(043)

**GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES PLANEJADAS EM REDES
MÓVEIS**

JOSÉ CARLOS MOTA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19.12.1997

Hadj Sadok

PROF. DJAMEL FAUZI HADJ SADOK, Ph.D
Presidente

José Antônio M. de Q.

PROF. JOSÉ ANTONIO MONTEIRO DE QUEIROZ, Dr.
Examinador

Francisco Vilar Brasileiro

PROF. FRANCISCO VILAR BRASILEIRO, Ph.D
Examinador

CAMPINA GRANDE - PB

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Manoel e Josete, pela educação, introdução e incentivo ao estudo.

À Mércia, pela compreensão e incentivos efusivos.

Às minhas irmãs M^a do Socorro, Marinalva e Marileide, pela boa convivência e constante troca de informações tão necessárias, além do estímulo.

Ao Professor Djamel pela excelente orientação.

A todos os colegas e professores do mestrado, como Peter, Marcos, Joberto, Isabel, além de todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

E um agradecimento especial a CAPES pelo seu papel importante que contribui para o desenvolvimento científico deste país, onde seu apoio foi decisivo para o curso de mestrado que gerou este trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fazer uma análise dos vários problemas e desafios que podem ser enfrentados pelos pesquisadores nas diversas áreas de atuação, seja de hardware, software, ou mesmo a nível de capacidade de carga da bateria dos computadores portáteis (*palmtops*) com respeito a mobilidade dos mesmos que constituem a grande massa de equipamentos que se utilizarão das redes móveis. Os vários problemas bem como algumas das soluções nos diversos níveis seja na camada de rede, camada de transporte e camada de aplicação foram analisados e para esta dissertação ficou resolvido trabalhar à nível de transporte, ou seja, propor alterações na proposta feita primeiramente por [Bak94] denominada de *Indirect* TCP visando possibilitar o gerenciamento de desconexões planejadas por parte de usuários que desejam voluntariamente se desconectarem da rede e passar a trabalhar localmente sem necessariamente perder a conexão total com a rede. Isto é necessário devido acreditar-se que um grande contingente de usuários móveis com seus *laptops*, representando cerca de 70% do total, trabalharão no modo parcialmente conectado, que é entendido como um estado intermediário entre conectado e totalmente desconectado.

ABSTRACT

This work has had as its aim to carry on an analyses on several problems and challenges about to be faced by researches in several acting areas, such as hardware, software, or even for battery charge capacity level of handling computers (palmtops), concerning to their mobility, making the great deal of equipments to be used in mobile nets. The many problems and some of the solutions in the several levels, whether it is in the net matter, transportation or the application, were all checked, thought transportation was used for this dissertation, by proposing alterations in the propose firstly done by [Bak94] named as indirect TCP, aiming to make possible the management of disconnections planned by users wishing to get out of the net voluntarily and start working locally without needing to lose a total connection with the net. This is necessary due to the possibility that a great deal of mobile users with their laptops, which represents about 70% of the total, will work in a partial connected way, which is known as an intermediate state between connected and totally disconnected ones.

VISÃO GERAL

Gerenciamento de Desconexões Planejadas em Redes Móveis

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2. INFRA-ESTRUTURA DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

CAPÍTULO 3. SOLUÇÕES A NÍVEL DE PROTOCOLOS (REDES MÓVEIS)

CAPÍTULO 4. OPERAÇÃO NOS MODOS PARCIALMENTE CONECTADO,
DESCONECTADO E FLUXO DE TRABALHO

CAPÍTULO 5. GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

BIBLIOGRAFIA

CONTEÚDO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO.....	01
1.2. PROBLEMAS E SOLUÇÕES NO CONTEXTO DE MOBILIDADE.....	02
1.3. OBJETIVO DA TESE.....	02
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	02

CAPÍTULO 2. INFRA-ESTRUTURA DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

2.1. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	06
2.2. TRANSMISSÃO DE RÁDIO.....	07
2.3. TRANSMISSÃO DE MICROONDA.....	08
2.4. ONDAS DE LUZ (LASER).....	09
2.5. INFRAVERMELHO E ONDAS MILIMÉTRICAS.....	09
2.6. COMUNICAÇÃO CELULAR.....	10
2.6.1. PROCESSO DE MUDANÇA ENTRE CÉLULAS.....	10
2.6.2. PRIMEIRA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR.....	13
2.6.3. SEGUNDA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR.....	14
2.6.3.1. CDPD (CELLULAR DIGITAL PACKET DATA).....	16
2.6.4. TERCEIRA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR.....	17
2.6.4.1. CONCEITOS DO UMTS.....	18
2.6.4.2. SISTEMA MBS.....	20
2.7. COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE.....	20
2.7.1. SATÉLITES DE ÓRBITA BAIXA (LEO).....	23
2.7.1.1. PROJETO IRIDIUM SYSTEM.....	23
2.7.1.2. PROJETO SACI.....	24
2.8. REDES LOCAIS SEM FIO (WLAN – WIRELESS LAN).....	24
2.8.1. CAMADA FÍSICA (PHY).....	26
2.8.2. CAMADA DE ACESSO AO MEIO (MAC).....	27
2.9. REDES ATM SEM FIO (WATM – WIRELESS ATM).....	29
2.10. COMUNICAÇÕES PESSOAIS SEM FIO.....	31

CAPÍTULO 3. SOLUÇÕES A NÍVEL DE PROTOCOLOS (REDES MÓVEIS)

3.1. FAMÍLIA DE PROTOCOLOS USADOS NA INTERNET (TCP/IP).....	35
3.2. ALTERAÇÕES PROPOSTAS NA CAMADA DE REDE (IP).....	35
3.2.1. PROTOCOLO IMHP.....	36
3.2.1.1. INFRA-ESTRUTURA DO PROTOCOLO IMHP.....	36
3.2.1.2. EXEMPLO DE MOBILIDADE.....	38
3.2.2. PROTOCOLO VIP.....	39
3.2.2.1. CONCEITO DE REDE VIRTUAL.....	40
3.2.2.2. MÉTODO DE PROPAGAÇÃO DE CACHE.....	41
3.2.2.3. CARACTERÍSTICAS DO VIP E VN-PROTOCOL.....	41
3.2.3. PROTOCOLO COLUMBIA MHP.....	44
3.3. ALTERAÇÕES PROPOSTAS NA CAMADA DE TRANSPORTE (TCP).....	45
3.3.1. MODELO FAST RETRANSMISSION.....	47

3.3.2. EXTENSÃO DA FASE SLOW-START.....	47
3.3.3. PROPOSTA SNOOP/ROUTING PROTOCOL.....	48
3.3.3.1. MÓDULO SNOOP.....	48
3.3.3.2. O MÓDULO ROUTING PROTOCOL.....	51
3.3.4. PROTOCOLO I- TCP.....	52
3.3.4.1. BENEFÍCIOS DA INDIREÇÃO.....	53
3.3.4.2. ARQUITETURA I-TCP.....	53
3.3.4.3. SEMÂNTICA I-TCP.....	54
3.3.5. PROPOSTA LAST HOP.....	55
3.3.5.1. MODELO DA REDE.....	55
3.3.5.2. ARQUITETURA LAST HOP.....	56

CAPÍTULO 4. OPERAÇÃO NOS MODOS PARCIALMENTE CONECTADO, DESCONECTADO E FLUXO DE TRABALHO

4.1. INTRODUÇÃO.....	59
4.2. OPERAÇÃO NO MODO PARCIALMENTE CONECTADO.....	59
4.2.1. MODELO DO PFS.....	61
4.2.2. ESBOÇO DO PFS.....	62
4.3. OPERAÇÃO NO MODO DESCONECTADO.....	63
4.3.1. INTRODUÇÃO.....	63
4.3.2. LIMITAÇÕES DE COMPUTAÇÕES MÓVEIS.....	63
4.3.3. VISÃO DO SISTEMA DE ARQUIVOS “CODA”.....	64
4.3.3.1. SERVIDOR DE REPLICAÇÃO.....	64
4.3.3.2. OPERAÇÃO DE DESCONEXÃO.....	65
4.3.4. AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....	66
4.4. FLUXO DE TRABALHO (WORKFLOW).....	66
4.4.1. PROCESSOS DE NEGÓCIOS.....	66
4.4.2. MODELO DO WORKFLOW.....	67
4.4.3. ARQUITETURA DO WORKFLOW.....	67
4.4.4. SUPORTE A CLIENTES DESCONECTADOS.....	68
4.4.4.1. REQUERIMENTOS DO SISTEMA.....	68
4.4.4.2. PRIORIDADE DE SINCRONIZAÇÃO PARA DESCONEXÃO.....	68
4.4.4.3. OPERAÇÃO DE DESCONEXÃO.....	69

CAPÍTULO 5. GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES

5.1. INTRODUÇÃO.....	71
5.2. COMPONENTES DO I-TCP NORMAL.....	72
5.2.1. SUPORTE A CAMADA TCP/IP.....	73
5.2.2. BIBLIOTECA I-TCP.....	73
5.2.3. PROCESSO (DAEMON) I-TCP.....	74
5.2.4. GERENCIAMENTO DE HANDOFF.....	75
5.3. PROPOSTA PARA ALTERAÇÃO DO I-TCP.....	77
5.3.1. NEGOCIAÇÃO DE TEMPO DA ESTAÇÃO MÓVEL COM O MSR.....	78
5.3.2. RECONEXÃO DA ESTAÇÃO MÓVEL.....	79

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÕES.....	81
6.2. TRABALHOS FUTUROS.....	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. INFRA-ESTRUTURA DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

FIGURA 2.1. TRANSMISSÃO USADA PARA TRANSPOR A ÁGUA.....	05
FIGURA 2.2. VENCENDO OBSTÁCULOS COMO MONTANHAS OU VALES.....	06
FIGURA 2.3. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E SEU USO PARA AS COMUNICAÇÕES.....	07
FIGURA 2.4. AS BANDAS VLF, VF E MF SEGUEM A CURVATURA DA TERRA.....	08
FIGURA 2.5. AS BANDAS HF E VHF SÃO REFRAATADAS PELA IONOSFERA.....	08
FIGURA 2.6. USO DE REPETIDORES EM MICROONDAS PARA LONGAS DISTÂNCIAS.....	09
FIGURA 2.7. ÁREAS COBERTAS POR CÉLULAS, CONFORME MODELO HEXAGONAL.....	10
FIGURA 2.8. PROCESSO DE HANDOFF/HANDOVER.....	11
FIGURA 2.9. HARD HANDOFF.....	11
FIGURA 2.10. SEAMLESS HANDOFF.....	12
FIGURA 2.11. SOFT HANDOFF.....	12
FIGURA 2.12. ARQUITETURA DE REDE DO SISTEMA GSM.....	15
FIGURA 2.13. EXEMPLO DE UM SISTEMA CDPD.....	17
FIGURA 2.14. ESTRUTURA HIERÁRQUICA DAS CÉLULAS.....	18
FIGURA 2.15. MOBILIDADE DE ESTAÇÕES VERSUS VELOCIDADE.....	18
FIGURA 2.16. DECOMPOSIÇÃO DA ARQUITETURA UMTS.....	19
FIGURA 2.17. ARQUITETURA DA REDE UMTS.....	20
FIGURA 2.18. VSATs USANDO UM HUB.....	22
FIGURA 2.19. OS SATÉLITES SE COMUNICARÃO COM OS GATEWAYS PELO MUNDO.....	24
FIGURA 2.20. ARQUITETURA IEEE COM O PADRÃO IEEE 802.11.....	25
FIGURA 2.21. REDE LOCAL SEM FIO AD-HOC.....	25
FIGURA 2.22. COMPONENTES DE UM SISTEMA IEEE 802.11 (WLAN).....	26
FIGURA 2.23. APERFEIÇOAMENTO DO MÉTODO COM RTS/CTS.....	28
FIGURA 2.24. MECANISMO DE ACESSO CSMA/CD COM PRIORIDADE PCF.....	28
FIGURA 2.25. REDE ATM EM UM CAMPUS.....	29
FIGURA 2.26. (A) MODO NATIVO ATM, (B) MODO TCP/IP SOBRE ATM.....	30
FIGURA 2.27. UM SISTEMA ATM SEM FIO E A PILHA DE PROTOCOLOS CORRESPONDENTE.....	31

CAPÍTULO 3. SOLUÇÕES A NÍVEL DE PROTOCOLOS (REDES MÓVEIS)

FIGURA 3.1. ADIÇÃO DO CABEÇALHO DO IMHP PARA ENCAPSULAR O PACOTE.....	37
FIGURA 3.2. EXEMPLO DA ARQUITETURA DO IMHP.....	38
FIGURA 3.3. RELACIONAMENTO ENTRE OS SERVIÇOS.....	39
FIGURA 3.4. CAMADAS DE PROTOCOLOS PARA UMA REDE VIRTUAL.....	40
FIGURA 3.5. CONEXÃO DA ESTAÇÃO MÓVEL.....	42
FIGURA 3.6. COMUNICAÇÃO DE DADOS.....	43
FIGURA 3.7. A ESTAÇÃO SE DESCONECTA OU É DESLIGADA.....	43
FIGURA 3.8. FLUXOGRAMA PARA O PROCEDIMENTO SNOOP_DATA().....	49
FIGURA 3.9. FLUXOGRAMA PARA O PROCEDIMENTO SNOOP_ACK().....	50
FIGURA 3.10. DIVISÃO DE UMA CONEXÃO EM DUAS.....	54
FIGURA 3.11. MUDANÇA DE CÉLULA (MSR1 PARA MSR2).....	54
FIGURA 3.12. MODELO DE INTER-REDES.....	56

CAPÍTULO 4. OPERAÇÃO NOS MODOS PARCIALMENTE CONECTADO, DESCONECTADO E FLUXO DE TRABALHO

FIGURA 4.1. MODELO DE REDE PARA O PFS.....	61
FIGURA 4.2. DIAGRAMA DE BLOCOS DO PFS.....	62
FIGURA 4.3. ESTADOS E TRANSIÇÕES DO VENUS.....	65
FIGURA 4.4. UMA REQUISIÇÃO DE EMPRÉSTIMO COMO UM EXEMPLO DE NEGÓCIO.....	67

CAPÍTULO 5. GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES

FIGURA 5.1. IMPLEMENTAÇÃO DO I-TCP NO MACH 3.0 E UNIX.[BAK94].....	73
FIGURA 5.2. MÓDULOS I-TCP DA ESTAÇÃO MÓVEL.....	75
FIGURA 5.3. MÓDULOS I-TCP DOS MSRs.....	75
FIGURA 5.4. SEQÜÊNCIA DO HANDOFF I-TCP.....	76
FIGURA 5.5. DESCONEXÃO PLANEJADA.....	78
FIGURA 5.6. RECONEXÃO DA ESTAÇÃO MÓVEL.....	80

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. INFRA-ESTRUTURA DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

TABELA 2.1. SUMÁRIO DOS SISTEMAS CELULARES ANÁLOGOS [PAD95].....	14
TABELA 2.2. AS PRINCIPAIS BANDAS DE SATÉLITE [TAN96].....	21
TABELA 2.3. COMPETIDORES POR SATÉLITES E AS ÓRBITAS EM SOLICITAÇÃO.....	22
TABELA 2.4. CELULAR VERSUS REDES IRIDIUM [BAT94].....	23
TABELA 2.5. APLICAÇÕES TÍPICAS DE SERVIÇOS MULTIMÍDIA.....	30
TABELA 2.6. COMPARAÇÃO DE PCS VERSUS CELULAR NOS ESTADOS UNIDOS.....	32

CAPÍTULO 3. SOLUÇÕES A NÍVEL DE PROTOCOLOS (REDES MÓVEIS)

TABELA 3.1. CORRESPONDÊNCIA ENTRE OS PROTOCOLOS VN-PROTOCOL E VIP.....	44
TABELA 3.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS TRÊS PROTOCOLOS ANALISADOS.....	45
TABELA 3.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS CINCO PROTOCOLOS ANALISADOS.....	58

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

O relativo alto custo das comunicações sem fio e as limitações correntes do hardware dos PCs portáteis, continuam a impor pressões severas para o acesso de usuários móveis aos serviços de LANs (*Local Area Networks*) remotas. A rápida expansão da tecnologia das comunicações celulares, das LANs) e serviços de satélites tem tomado possível para usuários móveis acessarem informações de qualquer lugar e em qualquer tempo. Esses problemas e avanços tecnológicos têm motivado o estudo de pesquisadores para enfrentarem e buscar soluções. As redes móveis têm sido objeto de estudo por algum tempo e têm impulsionado dezenas de aplicações para viabilizar tais soluções.

O interesse principal nesta área é o direcionamento de muitas perspectivas para mercados como exemplo: disponibilização de informações em qualquer lugar seja em viagem a negócios ou lazer e em qualquer meio de transporte, sem a necessidade de qualquer ligação física através de cabos ou fios, tudo através do ar. Como será mencionado em capítulo subsequente, podem ser utilizados vários tipos de frequências como rádio, microonda, infravermelho, etc. Esta área abrange também locais íngremes como pontos isolados em locais distantes em meios não muito acessíveis facilmente, que podem ser cobertos por satélites.

Existe um número vertical para nichos de aplicações móveis sem fios incluindo: taxi, remessa, pontos de vendas, segurança pública, caminhão, etc., bem como aplicações horizontais que são as aplicações com domínio independente, onde há um maciço mercado de aplicações, tais como: páginas amarelas, informações sobre filmes, teatro, propagandas em supermercados, *shoppings centers*, etc. Portanto é uma área muito interessante e promissora a ser explorada.

1.2. PROBLEMAS E SOLUÇÕES NO CONTEXTO DE MOBILIDADE

Entre alguns dos principais problemas quanto a computação móvel diz respeito a pouca capacidade computacional dos computadores portáteis (*palmtops*, entre outros), como pouca memória, baixa capacidade de disco, e principalmente a autonomia da bateria em tais equipamentos. Quanto a baixa capacidade da bateria, os usuários móveis frequentemente têm de se desconectar temporariamente (*powered off*). Muitas atividades de informações em rajadas, tais como: leitura e envio de *e-mails* ou questionamentos feitos em bancos de dados será feito por substanciais períodos de desconexões.

Também muito frequentemente os clientes móveis podem tornar a se reconectar à rede em um novo meio ou nova célula longe de sua origem, ou mesmo cruzar entre duas células que é denominado de *handoff*. *Handoffs* são relativamente frequentes em comunicações de voz celular devido a uma alta perda de informação que pode ser tolerada. No caso de transferências de dados, onde a taxa de perda deve ser extremamente baixa, os *handoffs* são mais complexos.

1.3. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O principal objetivo da dissertação é propor alterações na proposta a nível de transporte do protocolo denominado de *Indirect TCP*, com a finalidade de suportar desconexões planejadas que podem ser requisitadas pelos usuários móveis. Existem dois tipos de modos de conexões como conhecido atualmente, ou seja, conectado ou totalmente desconectado. No entanto nosso objetivo é introduzir um outro modo intermediário entre estes dois modos conhecidos que podemos denominar de parcialmente conectado, onde o usuário pode se desconectar temporariamente para realizar tarefas locais sem ter que necessariamente se desconectar totalmente da rede remota, podendo posteriormente se reconectar à mesma durante um período de tempo indeterminado. Deste modo é feita uma análise de várias das propostas existentes para resolver muitos desses problemas e posteriormente são sugeridas as alterações com vistas a corroborar o que está sendo sugerido.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está distribuída em seis capítulos. No primeiro capítulo como pode ser observado, é descrito a motivação do trabalho, alguns conceitos iniciais e o próprio esquema de escrita da dissertação.

No capítulo 2, é explicada a infra-estrutura e os principais conceitos da computação móvel, como por exemplo: é fornecida uma visão do espectro eletromagnético e as diversas frequências que podem ser utilizadas para a transmissão de informações, bem como as faixas que necessitam de licença governamental para uso e as que são prejudiciais ao ser humano. São explicadas também as três gerações de sistemas de telefonia celular como é o caso do AMPS, GSM, UMTS, MBS, etc. São introduzidos alguns conceitos da tecnologia dos satélites e suas órbitas para comunicação de dados, voz, imagem, paging, etc. É fornecido o conceito das redes locais sem fio e sua padronização quanto às camadas físicas e de acesso ao meio. São introduzidos conceitos das redes ATM sem fio que deverá ser um passo importante para a pa-

dronização e finalmente são comentadas as comunicações pessoais sem fio, ou seja, PCS (*Personal Communications Services*).

No terceiro capítulo é exibido um resumo das várias propostas a nível de protocolos das camadas de rede e transporte de acordo com a família de protocolos TCP/IP (*Transport Control Protocol / Internet Protocol*). São as seguintes as propostas estudadas da camada de rede: Protocolo IMHP (sua infra-estrutura e exemplo de mobilidade), o protocolo VIP (com o conceito de redes virtuais, método de propagação de cache, e suas características), e o protocolo Columbia MHP. Para as propostas da camada de transporte, foram estudadas as seguintes: o modelo *fast retransmission*, a extensão da fase *slow-start*, a proposta *snoop/routing protocol* (especificando o módulo *snoop* e o módulo *routing protocol*), em seguida é exibida a proposta denominada de *Indirect TCP* que foi selecionada para o objetivo desta tese como mencionado anteriormente (são exibidos seus benefícios no que diz respeito a indireção, sua arquitetura e sua semântica), e finalmente é esboçada a proposta denominada de *Last hop*.

No quarto capítulo, é feito a análise das propostas a nível de sistemas de arquivos distribuídos. Primeiramente a proposta para operação no modo parcialmente conectado denominado de PFS, descrevendo seu modelo e suas características. Por fim é resumida a proposta que atua no modo de operação desconectado, utilizando-se do sistema de arquivos denominado de Coda.

No capítulo 5, são apresentadas as alterações propostas do protocolo *Indirect TCP* com vistas a se atingir o objetivo de trabalhar no modo parcialmente desconectado a nível da camada de transporte. São apresentados os componentes normais do I-TCP, o suporte à camada TCP/IP, a biblioteca I-TCP, o processo (*daemon*) I-TCP, o gerenciamento de *handoffs* e finalmente as devidas alterações.

No último capítulo, são apresentadas as considerações finais e propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

INFRA-ESTRUTURA DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

As transmissões sem fio são úteis para muitas aplicações ou pessoas que necessitam de informações *on-line*, independente de sua localização atual ou em plena viagem através dos diversos meios de transporte, seja de automóvel, ônibus, trem, navio ou mesmo avião. E a resposta para essas aplicações ou pessoas está exatamente nas transmissões sem fio. O avanço da tecnologia dos computadores portáteis como os chamados *notebook*, *laptop*, *palmtop*, *shirt pocket*, *hand-held*, ou *wristwatch computers*, tornou fácil sua mobilidade, requerendo infraestrutura das telecomunicações para permitir a independência de localidade e mobilidade.

Deste modo são diversas as tecnologias desenvolvidas para as transmissões sem fio, usando as transmissões de rádio, infravermelho, microonda, satélite, sistema celular, conforme é abordado neste capítulo. As figuras 2.1 e 2.2 fornecem uma idéia da aplicabilidade das comunicações através do ar, transpondo obstáculos, onde os locais são íngremes para permitir a instalação de cabos e mesmo sua manutenção, devido ao fato de requerer um tratamento especial para os mesmos.

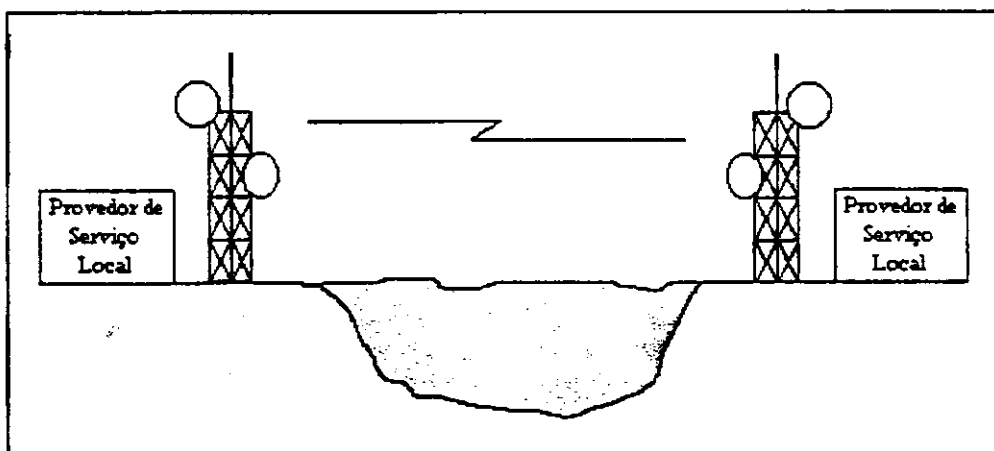


Figura 2.1. Transmissão usada para transpor a água.

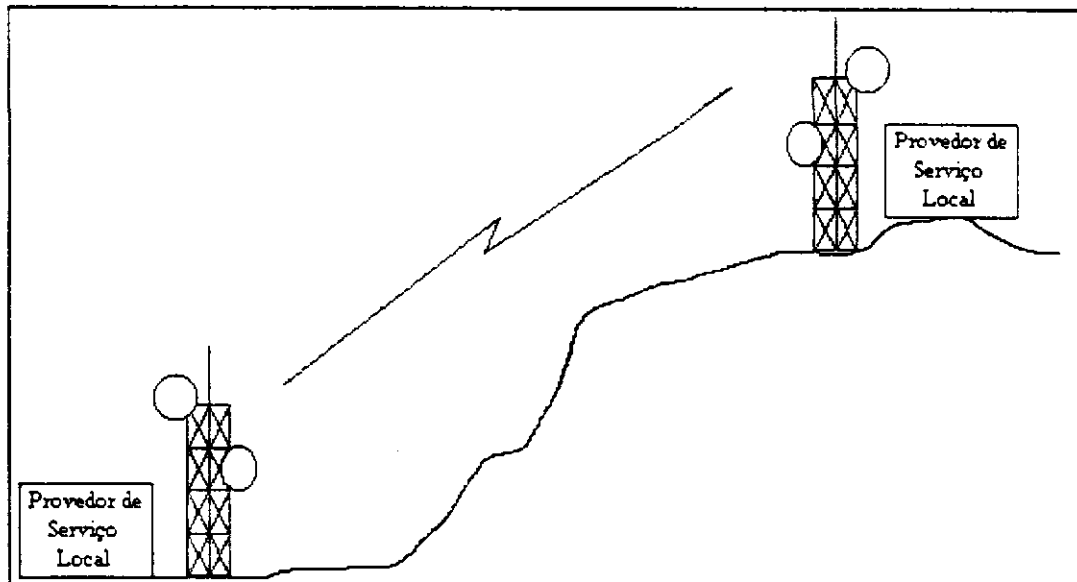


Figura 2.2. Vencendo obstáculos como montanhas ou vales

2.1. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Quando os elétrons se movem, eles criam ondas eletromagnéticas que podem se propagar pelo espaço livre (mesmo no vácuo). Essas ondas foram prognosticadas pelo físico Inglês James Clerk Maxwell em 1865, sendo produzida e observada primeiramente pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887. O número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética é chamada de frequência f e medida em Hz (em homenagem a Heinrich Hertz). A distância entre duas ondas consecutivas máxima ou mínima é chamada de tamanho da onda (*wavelength*), que é universalmente designada pela letra grega λ (lambda).

O espectro eletromagnético é exibido na figura 2.3. O rádio, microonda, infravermelho e porções de luz visível do espectro, podem ser usados para transmitir informação por modulação e amplitude, frequência, ou fase da onda. Luz ultravioleta, raios-X e raios gama poderiam ser melhor, devido a sua alta frequência, mas são difíceis de ser produzidas e moduladas, não se propagam através de edifícios e são perigosos à vida. Os termos mostrados na figura 2.3 são usados oficialmente pelo (I.T.U.) e são baseados no tamanho da onda, assim a banda LF (*Low Frequency*) vai de 1 Km a 10 Km (aproximadamente 30 KHz a 300 KHz). Os termos LF, MF e HF se referem a *Low, Medium e High Frequency*, respectivamente. Enquanto que os termos VHF, UHF, SHF, EHF e THF se referem a *Very, Ultra, Super, Extremely e Tremendously High Frequency*, respectivamente. Maiores detalhes podem ser encontrados em ([Bat94] [Tan96]).

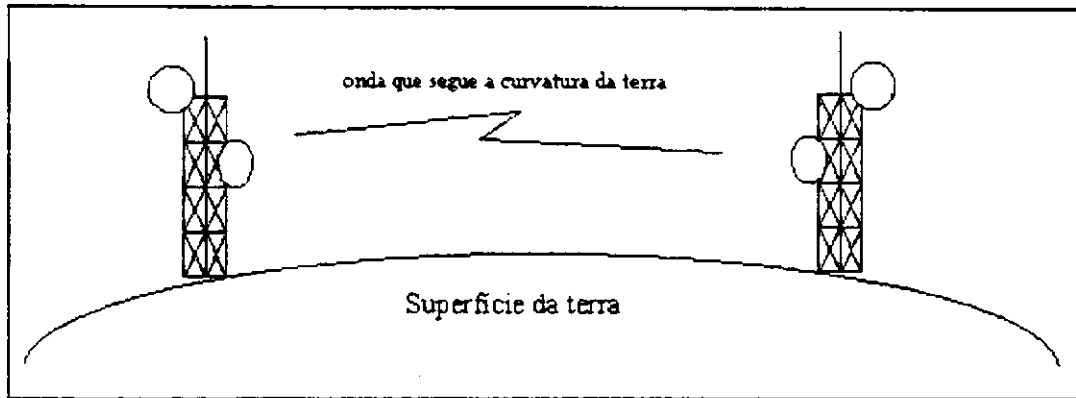


Figura 2.4. As bandas VLF, VF e MF seguem a curvatura da terra.

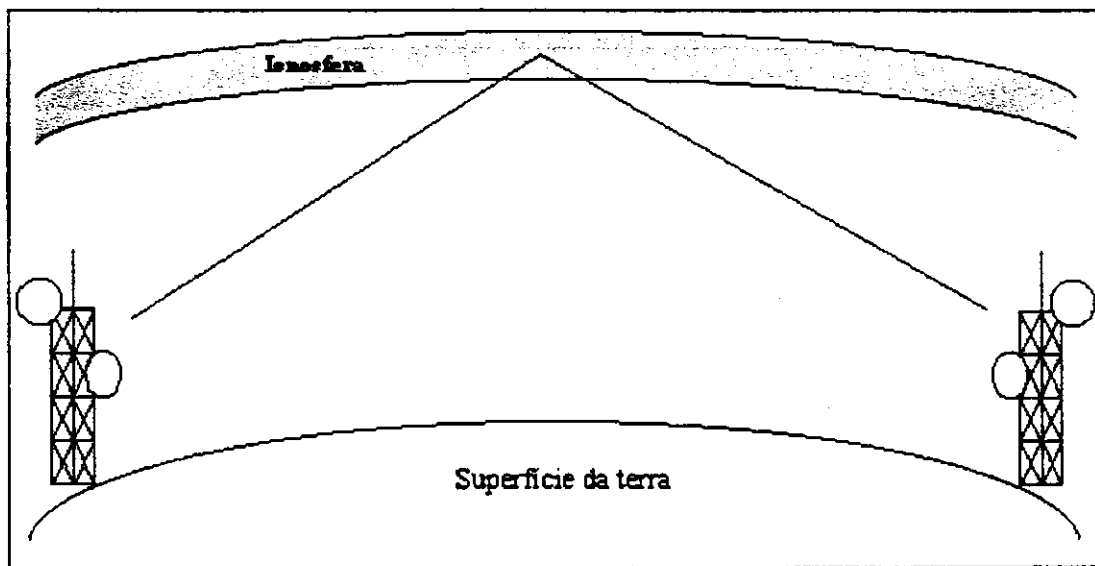


Figura 2.5. As bandas HF e VHF são refratadas pela ionosfera.

2.3. TRANSMISSÃO DE MICROONDA

A microonda foi o coração do sistema de transmissão telefônico a longa distância, antes do surgimento da fibra ótica [Tan96]. Seu princípio segue o mesmo do rádio, no entanto as ondas são de alta frequência e quando ultrapassam a faixa dos 100 MHz, as mesmas tendem a viajar em linha reta. Conseqüentemente, há a necessidade de repetidores periódicos para se atingir longas distâncias, conforme exibido na figura 2.6 [Bat94], onde tem o propósito de apenas ilustrar, uma vez que alguns fatores devem ser levados em consideração antes de determinar o tipo de antena, a distância entre elas, etc.

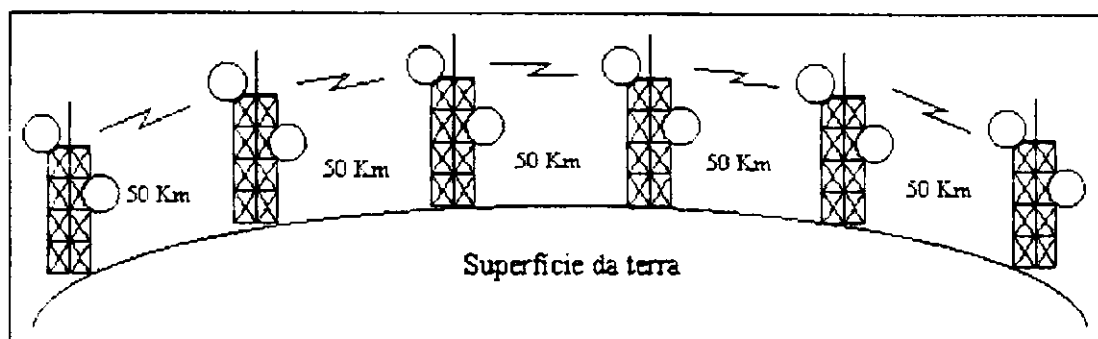


Figura 2.6. Uso de repetidores em microondas para longas distâncias.

2.4. ONDAS DE LUZ (LASER)

O uso do sinal óptico não dirigido tem sido usado por séculos. O advento da tecnologia do laser (raio de luz dirigido), permitiu o uso de uma aplicação moderna que é conectar redes locais em dois edifícios, onde o transmissor e o fotodetector do laser ficam localizados nos topos dos edifícios. Os raios são unidirecionais, deste modo cada edifício precisa ter seu próprio transmissor e fotodetector alinhados. Este esquema fornece muita largura de banda e baixo custo e é relativamente fácil de instalar, além de não requerer licença de uso.

Uma desvantagem é que o raio laser não penetra a chuva ou nevoeiro denso, mas normalmente trabalha bem em dias de sol.

2.5. INFRAVERMELHO E ONDAS MILIMÉTRICAS

O infravermelho e as ondas milimétricas, são ondas de luz de alta frequência, que devem ser direcionadas em linha de visão (trajeto não obstruído) para serem usadas para transportar dados entre nós distantes até 24,4 metros, os feixes infravermelhos não conseguem atravessar paredes de alvenaria. As velocidades de transmissão são relativamente altas, atingindo vários megabits por segundo [Dys95]. Existe também a técnica de difusão (raio não direcional em linha de visão, mas sim atingindo todas as direções), neste caso são úteis para extensões móveis em locais fechados [Mot95].

Pelo fato de ondas de infravermelho não ultrapassarem paredes de alvenaria, significa que sistemas de infravermelho em um local fechado, como em um escritório de um edifício, não interferem em um outro sistema similar de um outro compartimento do edifício. Por esta razão, não há a necessidade de licença governamental para operar, em contraste com sistemas de rádio que precisam de licença. Os sistemas de infravermelho são muito usados em aplicações domésticas como: controle remoto de televisões, vídeos, aparelhos de som, etc [Tan96]. Eles podem ser relativamente direcionais, baratos e fáceis de ser projetados.

Essas propriedades tem feito do infravermelho um forte candidato a suportar redes locais sem fio (WLANs – *Wireless Local Area Networks*). Por exemplo, computadores portáteis com transmissores e receptores de infravermelho que usam a técnica de difusão (não focados), podem formar uma rede local sem fio (sem conexão física) em uma sala de conferência, onde todos os participantes com esses computadores portáteis estão na verdade conectados uns com

os outros. Por outro lado as comunicações via infravermelho não podem ser usadas para locais abertos, devido a interferência dos raios solares no espectro visível.

2.6. COMUNICAÇÃO CELULAR

Por volta do ano de 1946, o primeiro telefone por rádio comercialmente realizado, foi introduzido em St. Louis – Missouri e contava com muitos problemas. No entanto em meados de 1960 surgiu a tecnologia de telefonia móvel, resolvendo assim muitos dos problemas encontrados com a tecnologia anterior. Possuindo deste modo dois canais duplex, cobrindo uma área de aproximadamente 20-25 milhas, porém interferências podiam acontecer com os sistemas de rádio em distâncias de até 100 milhas. O resultado foi limitar a capacidade do canal e frequência de reuso [Bat94].

As áreas cobertas são divididas por frequências, denominadas de células, formando um modelo hexagonal como exibido na figura 2.7.

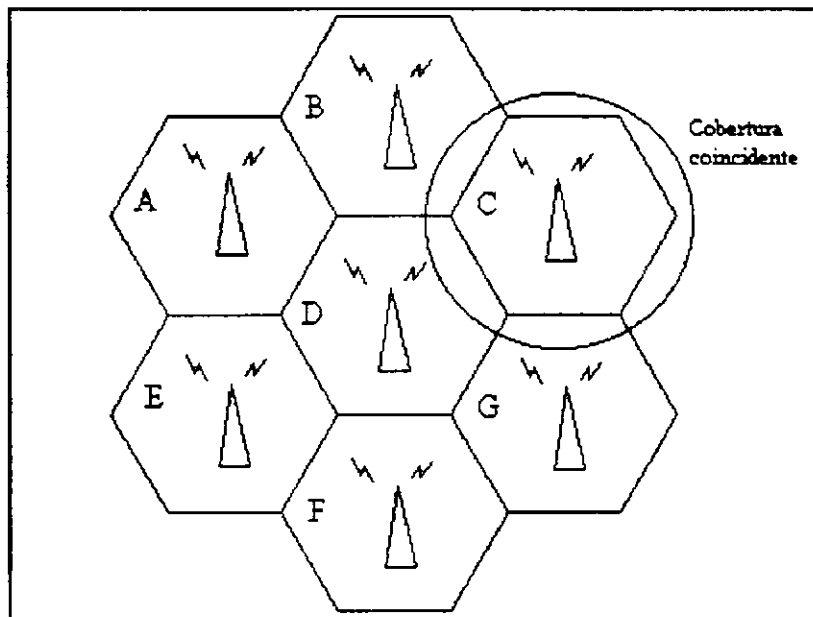


Figura 2.7. Áreas cobertas por células, conforme modelo hexagonal.

2.6.1. PROCESSO DE MUDANÇA ENTRE CÉLULAS

O processo de mudança entre células é denominado de *Handoff* ou *Handover*. Tal processo ocorre quando é necessário a troca entre células para dar continuidade a uma chamada, e é dividido em três fases sucessivas: **a) Medida** – ambos, a estação móvel (MS – *Mobile Station*) e a rede avaliam a qualidade da transmissão e ao mesmo tempo verificam o canal ou célula válida para suportar a comunicação. **b) Início** – um *handoff* é iniciado quando a qualidade da transmissão diminui baseado na coleta de dados. **c) Controle** – o controle pode ser feito tanto pela rede (*Network-controlled*) (como análogo no sistema celular) ou assistido pela estação móvel (*Mobile-assisted*). Uma vez o *Handoff* decidido, através de um processo específico

de chamada, um novo caminho é estabelecido [Jab95]. A figura 2.8 fornece uma ilustração de como acontece este processo.

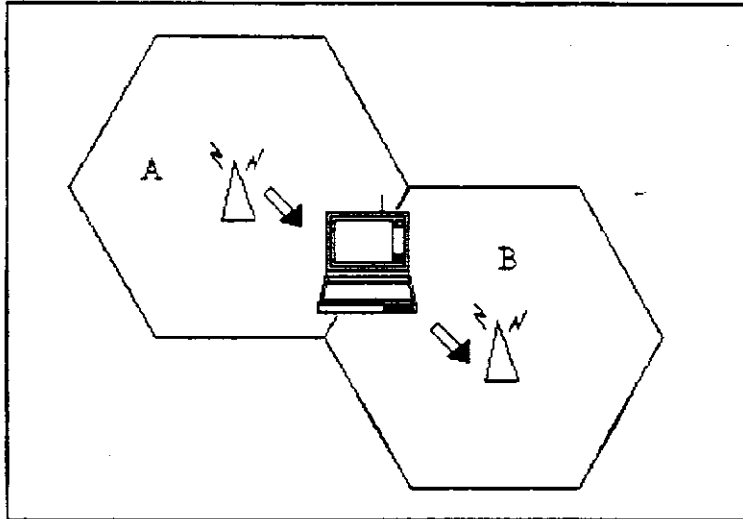


Figura 2.8. Processo de Handoff/Handover.

O processo de *Handoff/Handover* pode ser classificado de acordo com a passagem para o novo caminho, e são denominados de *hard handoff*, *seamless handoff* e *soft handoff*, conforme é descrito abaixo:

- ✓ *Hard handoff* – troca de frequência da transmissão da estação móvel para uma nova estação base, com possibilidade de curta interrupção na conexão em progresso (esquema controlado pela rede) – usado em FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*), conforme ilustrado na figura 2.9.

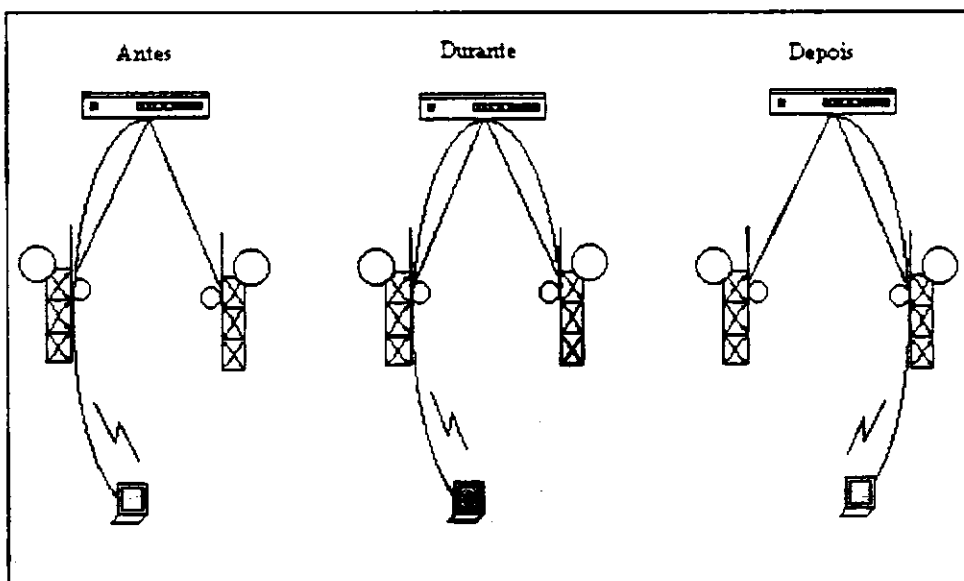


Figura 2.9. Hard handoff

- ✓ *Seamless handoff* – uma conexão é estabelecida em paralelo com a conexão existente, e a informação é transmitida pela estação móvel para ambas as estações bases. Então através do controle da rede, a velha conexão é parada (utilizado em DECT – *Digital European Cordless Telecommunications*), conforme mostrado na figura 2.10.

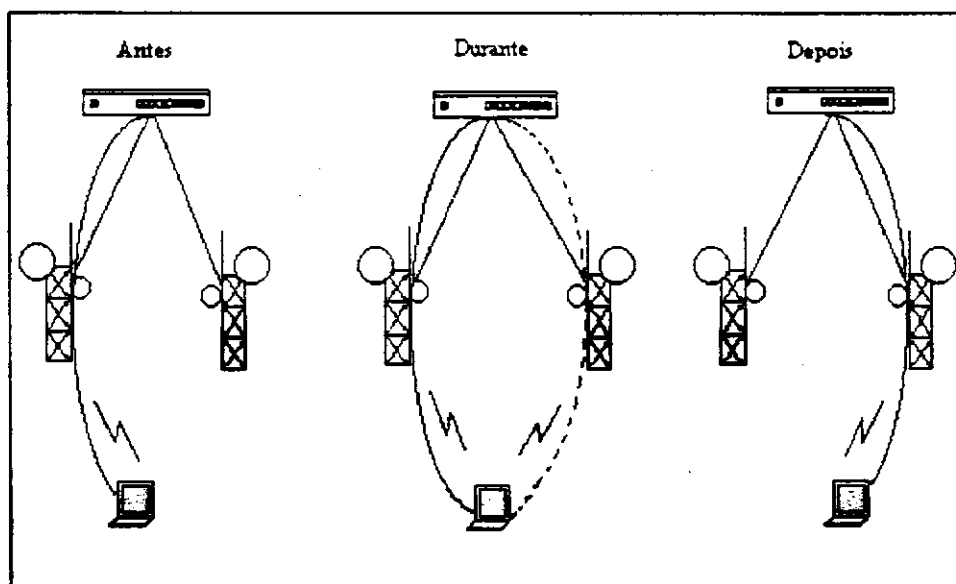


Figura 2.10. Seamless handoff.

- ✓ *Soft handoff* – a estação móvel é simultaneamente conectada com 2 ou mais estações bases e do lado da rede fixa é entendido para recuperar uma única informação. Usado nos Estados Unidos com CDMA (*Code Division Multiple Access*) padrão, de acordo com a figura 2.11. Também está sendo considerado em UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), conforme descrito adiante no item correspondente à terceira geração de sistemas de telefonia celular.

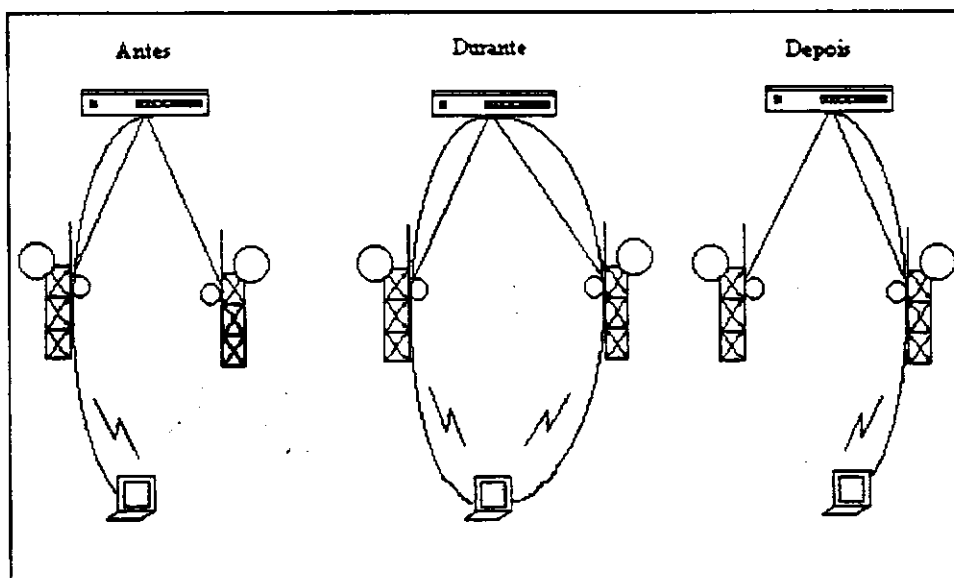


Figura 2.11. Soft handoff.

2.6.2. PRIMEIRA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR

Em 1983, o FCC (*Federal Communications Commission*) autorizou o serviço de rádio celular. Uma das primeiras gerações dos sistemas celulares é formalmente conhecido como AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). Este padrão é ainda usado nos dias de hoje nos Estados Unidos e Canadá em áreas não muito populosas. Desde o ano de 1983, o número de pessoas escritas nos Estados Unidos tem crescido para 20 milhões. O espetacular crescimento da telefonia celular em todo o mundo tem estimulado grande interesse em novas formas de acesso sem fio à rede de telefone pública denominado de PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Nos Estados Unidos, um novo serviço de redes sem fio chamado de PCS (*Personal Communicatins Service*), expandirá da faixa dos 900 MHz (análogo ao serviço celular) para operar perto de 2 GHz ([Pad95] [Hub97]).

O AMPS foi inicialmente desenvolvido pelo Bell Labs e é baseado em múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA – *Frequency Division Multiple Access*), ou seja, totalmente analógico, onde é utilizado para os sinais de áudio ([Ste95a] [Cav96]).

A falta de segurança é um dos problemas encontrados no AMPS por utilizar FDMA, devido ao fato de poder ser escutado por um intruso de uma maneira fácil através de um receptor de rádio amador.

A banda de frequência alocada para as redes celulares de telefonia móvel possui uma largura de 50 MHz, dividida em duas faixas “A” e “B”, de 25 MHz cada ([Pad95] [Sou96]). Atualmente as empresas do grupo Telebrás no caso do Brasil, utilizam somente uma das faixas de 25 MHz, a outra faixa é destinada à exploração pela iniciativa privada [Cav96].

Na Europa, vários outros sistemas análogos ao AMPS, foram desenvolvidos, incluindo: TACS (*Total Access Communications System*) usado no Reino Unido, Itália, Espanha, Áustria e Irlanda; NMT (*Nordic Mobile Telephone*) usado em muitos países, bem como outros sistemas, conforme ilustrado na tabela 2.1.

Padrão	Faixas (MHz)	Canal (KHz)	Nº de canais	Região
AMPS	824-849/869-894	30	832	Américas
TACS	890-915/935-960	25	1000	Europa
NMT 450	453-457.5/463-467.5	25	180	
NMT 900	890-915/935-960	12.5	1999	
ETACS	872-905/917-950	25	1240	Reino Unido
C-450	450-455.74/460-465.74	10	573	Alemanha, Portugal
RTMS ¹	450-455/460-465	25	200	Itália

¹ RTMS (*Radio Telephone Mobile System*)

Radiocom 2000	192.5-199.5/200.5-207.5	12.5	560	França
	215.5-233.5/207.5-215.5		640	
	165.2-168.4/169.8-173		256	
	414.8-418/424.8-428		256	
NTT ²	925-940/870-885	25/6.25	600/2400	Japão
	915-918.5/860-863.5	6.25	560	
	922-925/867-870	6.25	480	
JTACS/NTACS	915-925/860-870	25/12.5	400/800	Japão
	898-901/843-846	25/12.5	120/240	
	918.5-922/863.5-867	12.5	280	

Tabela 2.1. Sumário dos sistemas celulares analógicos [Pad95].

2.6.3. SEGUNDA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR

A Segunda geração é iniciada com o advento da telefonia celular digital, devido ao crescente avanço tecnológico dos circuitos integrados. A digitalização permite o uso dos dois principais métodos de múltiplo acesso TDMA e CDMA como alternativas ao FDMA (usado na primeira geração) ([Roc94] [Pad95]).

Com o TDMA, o uso de cada canal de rádio é particionado em múltiplas porções de tempo (*timeslots*), e cada usuário é designado com uma específica combinação de frequência/*timeslot*. Assim, somente um único usuário móvel em uma determinada célula está usando uma dada frequência em algum tempo particular ([Pad95] [Cav96]). Mais detalhes sobre TDMA podem ser encontrados em ([Fal95] [Bai96]).

Com o CDMA (que usa espalhamento espectral), um canal de frequência é usado simultaneamente por múltiplos usuários móveis em uma determinada célula, e os sinais são distinguidos por espalhamento em códigos diferentes [Pad95]. Originalmente esta técnica foi desenvolvido para aplicações militares, muito embora seja muito bem aplicada em áreas montanhosas e/ou populosas, onde o sinal refletido pode causar danos à comunicação. A tecnologia de espalhamento espectral (*Spread Spectrum*) tem como objetivo difundir a informação contida em um sinal de largura de banda pequena em outra largura de banda muito superior, e o sinal é difundido sobre uma gama ampla de frequências de acordo com uma seqüência específica de espalhamento. Do lado da recepção, o sinal é detectado por receptores que reconhecem a seqüência de espalhamento. Mais detalhes sobre CDMA podem ser encontrados em ([Bai96] [Koh95] [Pet95] [Cav96] [Tan96] [Tho96]).

O uso das arquiteturas digitais TDMA ou CDMA também oferecem vantagens adicionais, como:

- ✓ Uma integração mais natural com as redes digitais com fios já desenvolvidas.
- ✓ Flexibilidade para mesclar comunicação de voz e dados e suportar novos serviços.

² NTT (*Nippon Telephone and Telegraph*)

- ✓ Um potencial para novos aumentos de capacidade como a introdução de reduzida taxa de codificação de voz.
- ✓ Reduz a potência de transmissão de RF (*Radio Frequency*), aumentando a vida das baterias de computadores de mão (*handsets*).
- ✓ Criptografia para privacidade da comunicação.
- ✓ Reduz a complexidade do sistema (*Handoffs* assistidos pela estação móvel, poucos transceptores de rádio).

Como já mencionado, os sistemas de Segunda geração são digitais e estão padronizados levando-se em conta seus antecessores como é o caso do AMPS que deu origem ao sistema IS-54 (*Interim Standard 54*) nos Estados Unidos e, com características que levam em consideração a evolução da tecnologia analógica para a digital, usa a técnica TDMA. Posteriormente o EIA/TIA (*EIA – Electronic Industries Association / TIA – Telecommunications Industry Association*) padronizou o sistema IS-95 (*Interim Standard 95*) que usa a técnica CDMA como forma de comunicação. Os sistemas IS-54 e o IS-95, permitem a operação em modo dual, ou seja, aprova tanto o modo analógico como o digital ([Pad95] [Sou96] [Tan96]).

Contrariamente aos demais sistemas, o sistema europeu digital denominado GSM (*Global System for Mobile telecommunications*) não mantém compatibilidade com seus sistemas de primeira geração originais, e tem sido considerado como um sistema inteiramente digital. O GSM está correntemente em uso em cerca de 50 países dentro e fora da Europa.

Em seguida é fornecida uma visão geral da arquitetura do sistema GSM ([Fru96] [Lin97]), conforme ilustração da figura 2.12 e uma breve descrição de seus componentes.

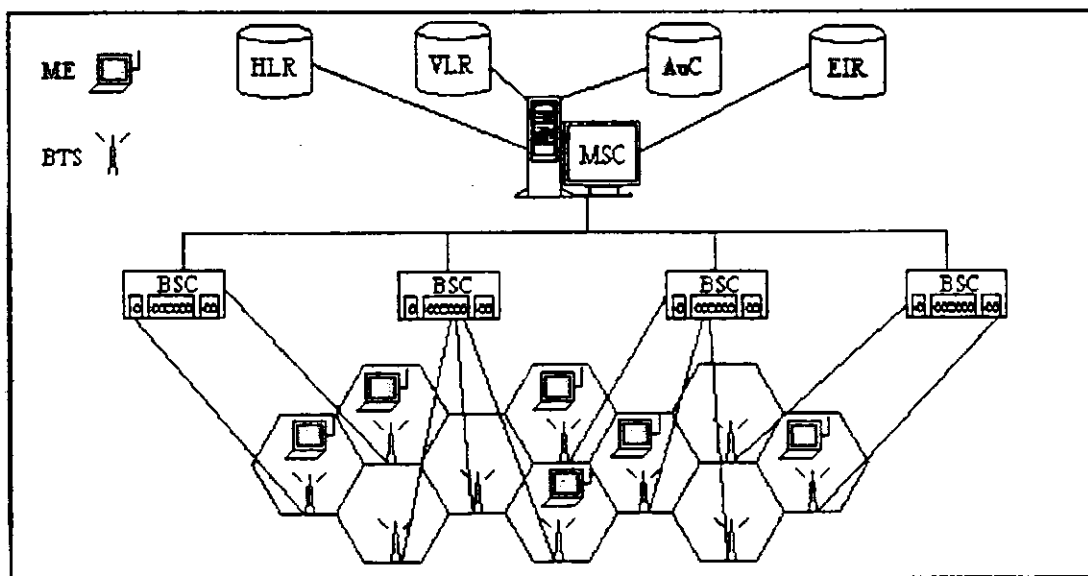


Figura 2.12. Arquitetura de rede do sistema GSM.

O MSC (*Mobile Services Switching Center*) é responsável por controlar as chamadas entre os vários usuários, sejam eles fixos ou móveis. O GSM possui duas principais bases de dados que são: HLR (*Home Local Register*), registrador de locação local e VLR (*Visitor Location Register*), registrador de localização de visitantes. As outras duas bases de dados são: EIR (*Equipment Identity Register*), contém a lista dos equipamentos móveis válidos disponíveis

na rede, e AuC (*Authentication Center*), responsável pela autenticação do assinante e cifragem sobre o canal de rádio.

Os BSC's (*Base Station Controller*) controlam uma ou mais BTS (*Base Transceiver Station*), gerenciando os recursos de rádio, *handoffs* e saltos de frequência (*frequency hopping*).

Os BTS's são responsáveis pela transmissão/recepção de rádio, atendendo os ME's (*Mobile Equipment*).

2.6.3.1. CDPD (CELLULAR DIGITAL PACKET DATA)

Com o advento dos sistemas de telefonia celular digital, surgiu a mais nova tecnologia sem fio que é a rede celular digital de comutação de pacotes de dados ou o CDPD. Este sistema é compatível com o sistema AMPS, tendo sido criado no topo deste. Seu objetivo principal é poder enviar pacotes de dados em canais de voz em períodos de inatividade na rede de telefonia celular. ([Roc94] [Kha95] [Tan96] [Dev94] [Sou96]).

Durante esses períodos de inatividade, os modems CDPD enviam pequenos pacotes de dados para a rede celular a uma velocidade de 19,2 Kbps. Ao contrário das comunicações de voz, o CDPD inclui recursos automáticos de detecção de erros e retransmissão que objetivam evitar a perda de dados, além de possuir criptografia para proteger os dados.

Para utilizar os serviços CDPD, é necessário um modem CDPD especial que, ao contrário dos modems de RF e celulares, contém todos os recursos de um telefone celular digital, eliminando desta forma a necessidade de um aparelho separado. Além disso, alguns modems CDPD podem ser utilizados como telefones celulares digitais, permitindo a conexão de um monofone analógico separado para sustentar as conversações de voz.

Um sistema CDPD consiste de três tipos de estações: estações móveis (MH – *Mobile Host*), estações base (BS – *Base Stations*) e estações de interface base (BIS – *Base Interface Stations*). No jargão CDPD essas mesmas estações são denominadas respectivamente de: MES – *Mobile End Systems*, MDBS – *Mobile Data Base Systems*, e MDIS – *Mobile Data Intermediate Systems*. Essas estações interagem com equipamentos estacionários e roteadores padrão, do tipo encontrado em WAN. As estações móveis (MES ou MH) são equivalentes a computadores portáteis. As estações base (BS ou MDBS) são transmissores/receptores que falam com as estações móveis. Enquanto que as estações de interface base (BIS ou MDIS) são nós especiais responsáveis pelo interfaceamento de todas as estações base numa área coberta do tipo CDPD (áreas (A) ou (B) conforme figura 2.13) a um roteador padrão fixo para novas transmissões através da Internet ou outra WAN. A figura 2.13 fornece um exemplo de um sistema CDPD.

São definidas três tipos de interfaces no CDPD. A interface A-int. (*Air interface*) que conecta as estações móveis às estações base, a interface I-int. (*Internal to the CDPD provider*) que conecta duas áreas distintas do tipo CDPD e a interface E-int. (*External to the CDPD provider*) que conecta uma área CDPD a uma rede fixa.

Os dados são transmitidos obedecendo uma política de acesso fornecida pelo protocolo chamado DSMA/CD (*Digital Sense Medium Access with Collision Detection*), onde o dispositivo de transmissão verifica o meio para encontrar um canal livre. Se encontrar, transmite, caso contrário, espera por um *timeout* e volta a verificar o meio até encontrar um canal livre.

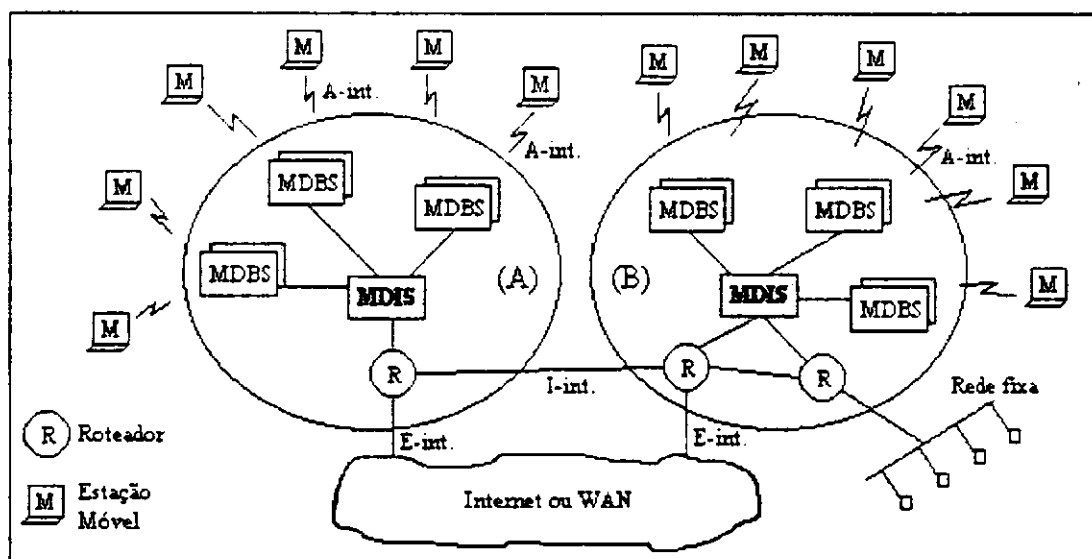


Figura 2.13. Exemplo de um sistema CDPD.

2.6.4. TERCEIRA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR

Ao contrário das duas primeiras gerações, onde somente um limitado conjunto de funções relativas à telefonia foi requerido para sua evolução, da terceira geração espera-se características distintas como: suporte a velocidade de dados variável na interface de rádio, acesso flexível ao rádio e interface a redes fixas, tráfego multimídia, recursos de tarefas dinâmicas, controle da rede, serviços portáteis, largo alcance de mobilidade e gerenciamento de tráfego através das redes. Esses requerimentos de uma forma limitada têm sido incorporados em estudos e desenho arquitetural para esta próxima geração de redes móveis tais como o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunications System*) [Jab96].

Segundo ([Das96b] [Das97]), grupos de pesquisa e desenvolvimento de comunicações avançadas da Europa como: RACE (*Research into Advanced Communications in Europe*) e o programa ACTS (*Advanced Communications Technologies and Services*), são responsáveis pelo desenvolvimento da plataforma tecnológica da terceira geração para o transporte de serviços e aplicações de banda larga (*broadband*) por um custo eficaz. O objetivo é conseguir progressivamente a extensão às comunicações móveis os recursos de multimídia e alta performance, bem como permitir a natural integração e interconexão com futuras redes com fio. Correntemente ainda no contexto do programa ACTS na parte de pesquisa e desenvolvimento, existem três diferentes plataformas de rede, que são o UMTS, o sistema MBS (*Mobile Broadband Systems*) e o WLAN (*Wireless Local Area Networks*) que são melhores especificados adiante neste capítulo. A figura 2.14 fornece uma ilustração da gama de serviços, desde um edifício até uma área global, em que os sistemas pessoais de comunicação móvel de terceira geração estarão dispostos. As várias células ilustradas na figura 2.14, diferem principalmente em termos de tamanho, canal e características de propagação. Como uma consequência, as diferenças mostradas resultam em um conjunto diferente de serviços e características de mobilidade sendo suportada por cada célula.

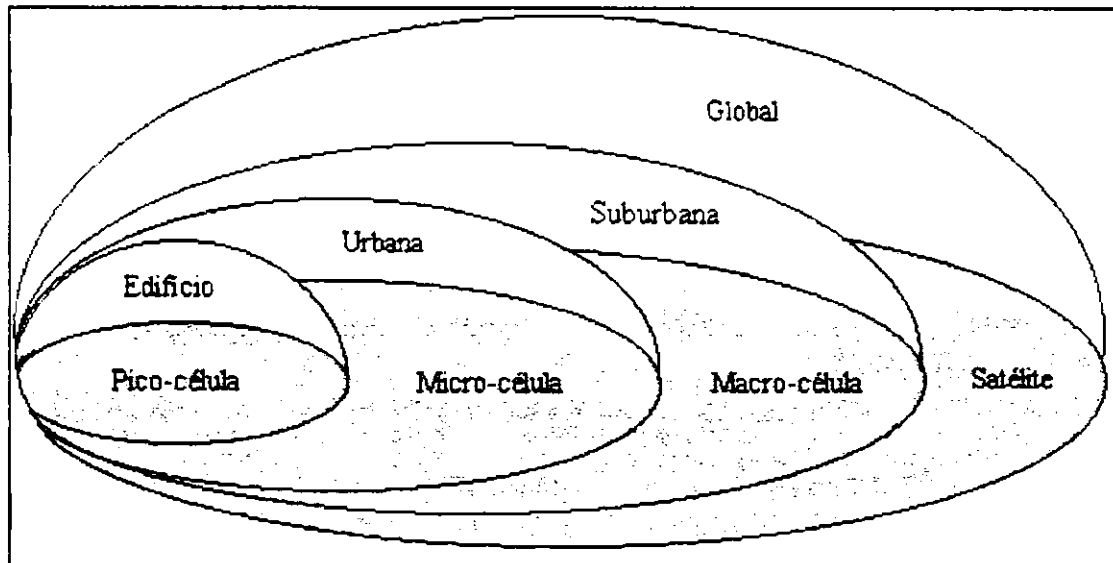


Figura 2.14. Estrutura hierárquica das células.

A figura 2.15 retrata as capacidades tecnológicas desses sistemas, medidos em termos de mobilidade das estações e velocidades requisitadas comparado às plataformas de segunda geração como é o caso do GSM.

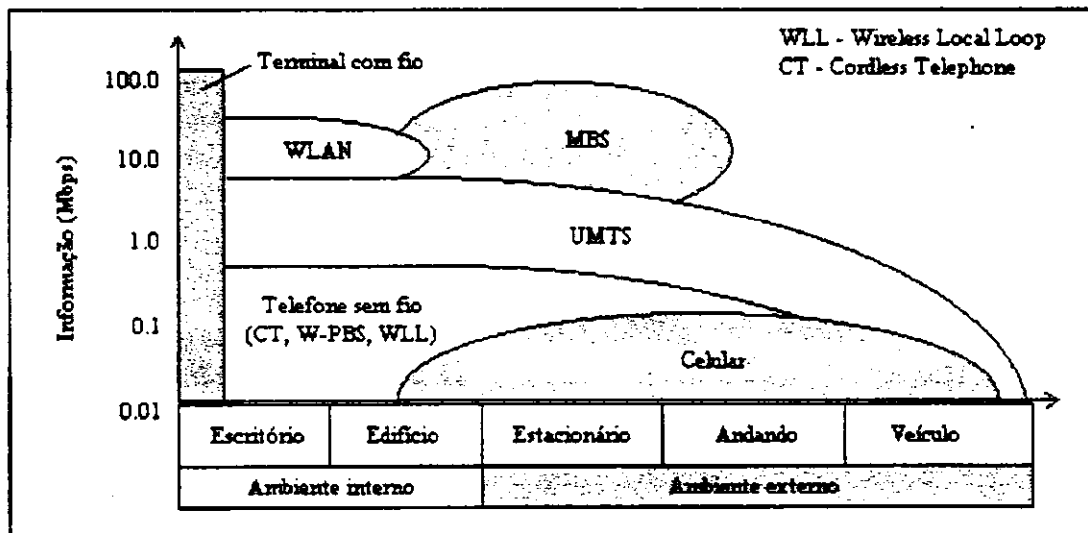


Figura 2.15. Mobilidade de estações versus velocidade.

2.6.4.1. CONCEITOS DO UMTS

Como mencionados em ([Das96a] [Das96b] [Mag96] [Das97]), o UMTS tem o papel de suportar os vários serviços, facilidades e aplicações almejadas atualmente pelos usuários, e tem o potencial de acomodar ainda serviços e aplicações não definidas com respeito às aplicações e serviços atualmente fornecidos pelas redes fixas (IBC - *Integrated Broadband Communications*), como multimídia com níveis de qualidade. A maior distinção do UMTS relativo aos

sistemas de segunda geração, é a estrutura hierárquica das células, designadas para um suporte gradual de longo alcance de serviços multimídia dentro de várias camadas de células, pelo uso de transmissão avançada e tecnologias de protocolos, conforme já ilustrado na figura 2.14.

O UMTS tem acesso integral a redes digitais de serviços integrados de banda larga (B-ISDN – *Broadband - Integrated Services Digital Network*). Como resultado, o acesso a redes móveis será para oferecer serviços que tradicionalmente são fornecidos por redes fixas, incluindo serviços de multimídia em banda larga até 2 Mb/s. Como também o UMTS suportará o padrão ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), onde esta compatibilidade habilitará o fornecimento de meios de transporte homogêneos.

O UMTS é constituído de três partes arquiteturais, e é decomposto conforme ilustrado na figura 2.16. A rede de acesso (AN - *Access Network*) fornece principalmente funções relativas ao rádio (ex: *handoff/handover*, controle de recursos) e funcionalidade de mudança local. A rede central (CN - *Core Network*) fornece funções de mudança (chamada e controle da portadora). A rede inteligente (IN - *Intelligent Network*) fornece controle de serviços móveis (ex: gerenciamento de locação, *handoff/handover*).

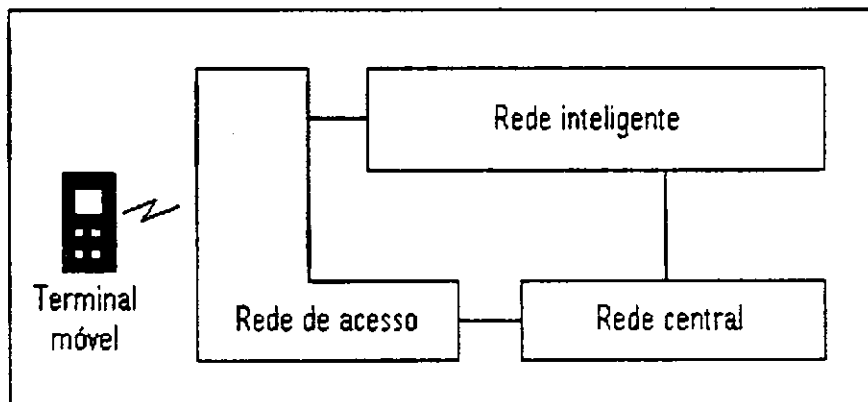


Figura 2.16. Decomposição da arquitetura UMTS.

A figura 2.17 mostra a arquitetura do conceito de rede do UMTS. Portanto, a grande quantidade de projetos comerciais introduzidos no UMTS é esperado para o ano de 2005, com uma vida útil prevista para até o ano de 2025. Assim, o padrão básico do UMTS deve ser fixado por volta do ano 2000. Maiores detalhes podem ser encontrados em [Kor96].

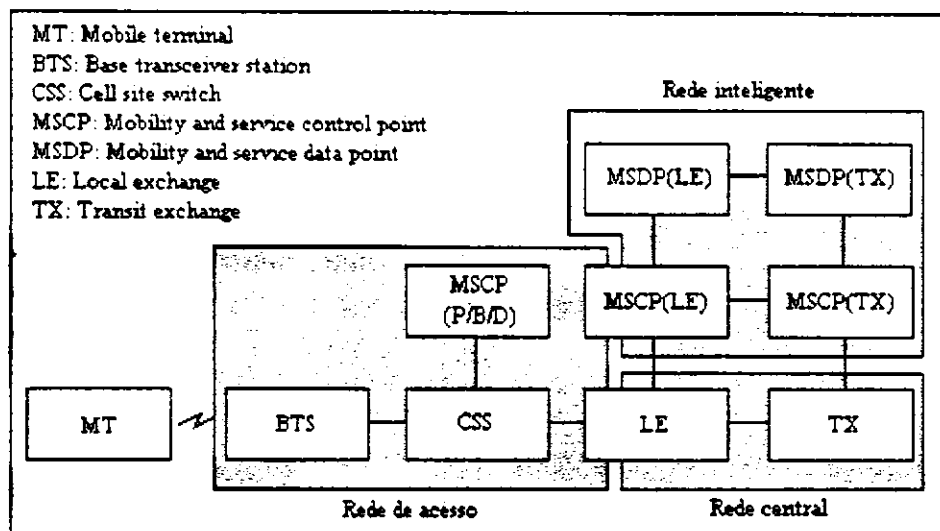


Figura 2.17. Arquitetura da rede UMTS.

2.6.4.2. SISTEMA MBS

O MBS (*Mobile Broadband System*) é um sistema de comunicações que operará com ondas milimétricas na faixa de 40 e 60 GHz, que suportará clientes de redes locais ou oferecidos diretamente por redes públicas fixas. Este conceito requer que o MBS forneça uma extensão móvel sem fio às redes com fio que suporte velocidades superiores a 100 Mb/s ([Das96a] [Das96b] [Das97]). A previsão do MBS, é que o mesmo será uma extensão móvel celular do B-ISDN, e abrangerá serviços fornecidos por outros sistemas. A grande diferença de outros sistemas, é que o MBS será compatível com o B-ISDN a ponto de incorporar o transporte de células ATM, usando a mesma estratégia de controle de conexão.

O MBS é um sistema de terceira geração, cujo desenvolvimento e capacidade é harmonioso com o UMTS, embora seja capaz de suportar serviços que requeiram velocidades superiores aos oferecidos pelo UMTS em meios com grande densidade de tráfego.

As aplicações possíveis para os sistemas do tipo MBS estão no momento concentradas na indústria de difusão (*broadcasting*), onde o MBS encontra numerosas aplicações por fornecer alta taxa de transmissão em meio celular no contexto de redes móveis como:

- ✓ Notícias eletrônicas em reuniões ou assembleias
- ✓ Difusão de televisão em *outdoors*
- ✓ Operações em estúdio
- ✓ Planejamento de programas ou edição de reuniões

2.7. COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE

Os satélites de comunicação possuem propriedades interessantes que os tornam atraentes para determinadas aplicações. Pode-se imaginar um satélite de comunicação como sendo um grande repetidor de microondas no céu. Ele contém um ou mais transceptores (*transponders*) [Pic78], cada qual escutando uma parte do espectro, ampliando o sinal de entrada e retransmitindo em outra frequência, para evitar interferência com o sinal de entrada. As aplicações

são as mais diversas, como exemplo a interconexão entre LANs via satélite em [Cel95]. Os feixes de transmissão podem ser bastante amplos, iluminando uma parte substancial da superfície terrestre, ou estreitos, iluminando áreas com diâmetro de centenas de quilômetros [Tan94].

Com a tecnologia atual, não é muito aconselhável ter satélites mais próximos entre si do que 2 graus, no plano equatorial de 360 graus ([Mot95] [Tan96]). Em separações menores, o feixe transmitido por uma estação terrestre ilumina não só o satélite como também seus vizinhos. Com um espaçamento de 2 graus, só é possível haver $360/2 = 180$ satélites de comunicação geosíncronos ou geoestacionários ao mesmo tempo no espaço. Além dessas restrições tecnológicas, existe também a competição por posições na órbita com outras classes de usuários.

Deste modo, satélites que usam partes diferentes do espectro não competem entre si; logo, cada um dos 180 satélites possíveis poderiam ter diversos fluxos de dados ascendentes e descendentes simultâneos. Como alternativa, dois ou mais satélites poderiam ocupar a mesma posição orbital, se operassem em frequências diferentes.

Conforme acordos internacionais, para evitar o caos no espaço, sobre quem pode ocupar as posições orbitais e em quais frequências, foi estabelecida as principais bandas da área comercial que são listadas na tabela 2.2. Um satélite típico tem 12-20 *transponders*, cada um com uma largura de banda de 36-50 MHz.

Banda	Frequências	Descida (GHz)	Subida (GHz)	Problemas
C	4/6	3.7-4.2	5.925-6.425	Interferência Terrestre
Ku	11/14	11.7-12.2	14.0-14.5	Chuva
Ka	20/30	17.7-21.7	27.5-30.5	Chuva; Preço do Equipamento

Tabela 2.2. As principais bandas de satélite [Tan96].

Os satélites de comunicação possuem várias propriedades que são radicalmente diferentes dos elos terrestres ponto a ponto. Para começar, ainda que os sinais de e para o satélite viajem à velocidade da luz (300.000 Km/s), a grande distância de ida e volta introduz um retardo considerável. Dependendo da distância do usuário até a estação terrestre e da elevação do satélite acima do horizonte, o tempo de trânsito fim a fim está entre 250 e 300 ms. Para efeitos de comparação, os elos terrestres de microondas possuem um retardo de propagação de cerca de 3 ms/km e elos em cabos coaxiais têm um retardo de aproximadamente 5 ms/km (visto que os sinais eletromagnéticos viajam mais lentamente no cobre do que no ar). Uma outra comparação que podemos fazer é com a fibra ótica, uma vez que em princípio a fibra ótica possui maior banda passante que os satélites construídos. Com os satélites, é viável que um usuário monte uma antena no telhado de seu prédio para evitar completamente o sistema telefônico, contrariamente, as fibras óticas têm o objetivo de suportar muitas chamadas de longa distância simultâneas, e não para suprir usuários individuais com uma grande banda passante.

Um novo desenvolvimento em comunicações via satélite no mundo são as micro-estações de baixo custo, denominadas de VSATs (*Very Small Aperture Terminals*). Esses minúsculos terminais tem uma antena de 1 metro e podem ter uma potência de 1 watt. O *link* de subida tem geralmente 19.2 Kbps, mas o *link* de descida é mais, frequentemente 512 Kbps. Em muitos sistemas VSATs, as micro-estações não tem bastante potência para se comunicar diretamente umas com as outras (via satélite). Em vez disso, uma estação especial em terra, o *hub*³, com uma grande antena de alto alcance é necessária para revezar o tráfego entre VSATs, como ilustrado na figura 2.18 [Tan96].

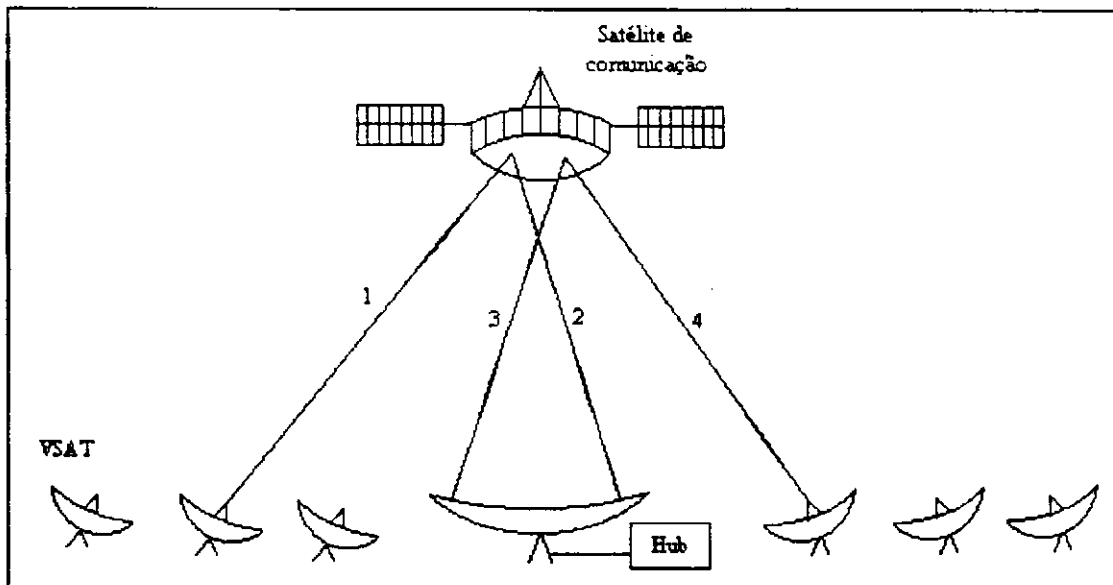


Figura 2.18. VSATs usando um Hub.

Por outro lado as organizações discutem sobre outras órbitas para satélites que são: (GEO – *geosynchronous orbit*) órbita geosíncrona, (MEO – *mid-earth orbit*) órbita terrestre intermediária e (LEOs – *low-earth orbits*) órbita terrestre baixa [Bat94], conforme tabela 2.3.

Órbita	Nº de Competidores	Situação atual
LEO	5	Pendente, licenças concedidas de forma experimental para muitas áreas específicas de cobertura.
MEO	4	Licenças experimentais concedidas para áreas específicas de cobertura.
GEO	4	Licenças já emitidas para alguns; experimental para outros.

Tabela 2.3. Competidores por satélites e as órbitas em solicitação [Bat94]

³ Hub – equipamento concentrador de estações que facilita a localização e o isolamento de falhas, bem como permite a inserção de novas estações na barra ou anel sem a parada do sistema. Deste modo a topologia passa a ser em estrela (topologia física), porém a topologia lógica continua a mesma (barra ou anel).

2.7.1. SATÉLITES DE ÓRBITA BAIXA (LEO)

2.7.1.1. PROJETO *IRIDIUM SYSTEM*

Para os primeiros 30 anos da era dos satélites, a órbita baixa foi raramente usada para as comunicações. No ano de 1990 a Motorola desenvolveu um projeto denominado de *Iridium System* com o objetivo de construir, lançar e operar na órbita baixa, satélites móveis globais ([Tan96] [Bat94]). Esta atitude da Motorola despertou outras companhias da área de comunicações, bem como todo o mundo sentiu o interesse de construir pequenos satélites e usar a órbita baixa pelo fato de ter baixo custo comparado aos grandes satélites e poder ter um aumento incremental.

O *Iridium System* é composto por 66 satélites que irão circundar a terra com a finalidade de fornecer os seguintes serviços, que poderão cobrir todas as áreas – ar, terra ou água. Os serviços são:

- ✓ Comunicação de Voz
- ✓ Comunicação de Dados
- ✓ Rádios Unidirecionais (*Paging*)
- ✓ Fax
- ✓ Navegação

As comunicações celulares estão primariamente alocadas nos Estados Unidos através de 1500 licenças cobrindo muitas áreas geográficas. Entretanto, tem ainda uma grande quantidade de áreas onde a parte financeira ou operacional não é compensadora para instalar o serviço. Como resultado, muitas áreas rurais, montanhas, e outras localidades não recebem a cobertura. Sobre este conceito, todas as áreas não previamente servidas, serão facilmente acomodadas. A tabela 2.4 sumariza as características iniciais do *Iridium System*. Como também a figura 2.19 fornece uma idéia da área de cobertura dos satélites.

Celular	Rede Iridium
Os <i>sites</i> são fixos	Os <i>sites</i> se movem
O usuário se move de um <i>site</i> para outro	Os <i>sites</i> movem o usuário de um satélite para outro
Áreas de cobertura são de 3-5 milhas	Áreas de cobertura são de 185-1100 milhas
A cobertura é esporádica, não totalmente ubíqua	A cobertura é mundial

Tabela 2.4. Celular versus Redes Iridium [Bat94]

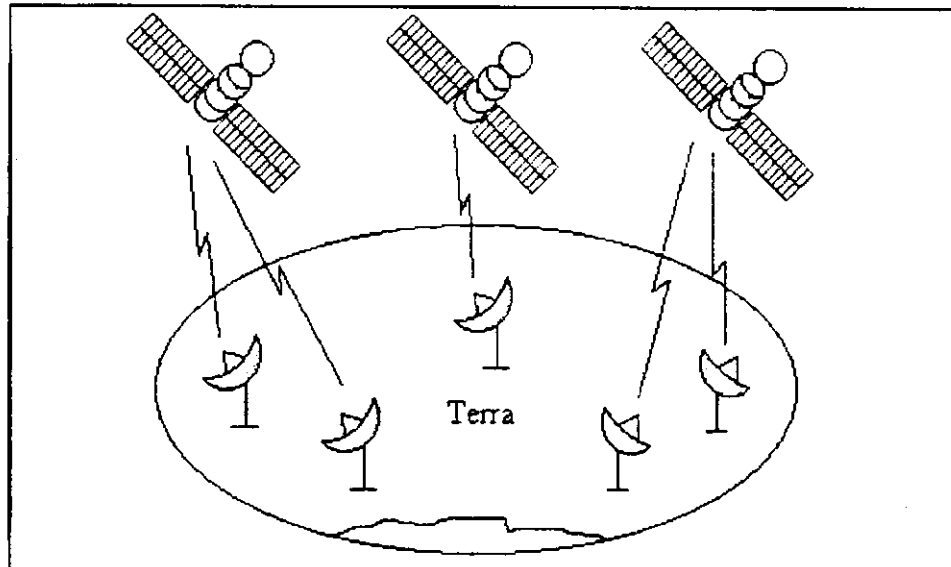


Figura 2.19. Os satélites se comunicarão com os gateways pelo mundo.

2.7.1.2. PROJETO SACI

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE – São José dos Campos) vem desenvolvendo o primeiro microsatélite brasileiro, tendo como objetivo inicial uma aplicação envolvendo experimentos científicos, daí seu nome SACI (Satélite para Aplicações Científicas). A tecnologia utilizada é praticamente toda nacional, e o seu lançamento será feito pelo foguete chinês “Long March”, no início de 1998. O computador de bordo foi concebido e implementado pelo Laboratório de Automação e Computação (LAC) da Universidade do Ceará, e seu hardware foi desenvolvido na Divisão de Processamento de Imagens (INPE). O computador, denominado *Trisputer*, possui uma arquitetura multiprocessadora, e uma topologia que introduz um alto grau de tolerância a falhas [Cas97].

2.8. REDES LOCAIS SEM FIO (WLAN – WIRELESS LAN)

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para elaborar um padrão para redes locais sem fio, constituiu o grupo de trabalho “*Wireless Local Area Networks Standard Working Group*”, mais conhecido como IEEE Project 802.11. O objetivo principal deste grupo de trabalho é elaborar um projeto para definir o nível físico (PHY) para redes, onde as transmissões são realizadas na frequência de rádio ou infravermelho, bem como elaborar um protocolo de controle de acesso ao meio (MAC – *Media Access Control*), denominado DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless MAC*). As camadas superiores devem interagir de modo transparente com a subcamada MAC (componente da camada de controle de enlace de dados), onde a outra subcamada o LLC (*Logical Link Control*) não deve tomar conhecimento se a rede é ou não com fio. O padrão segue a arquitetura de redes locais determinada pelo IEEE, de acordo com ilustração da figura 2.20, adaptada de [Sta90]. Neste tópico é apresentado um resumo deste padrão ([Ban94] [Bat94] [Sta94] [Roc94] [Des95] [Soa95] [Pah95] [Chh96] [LaM96]).

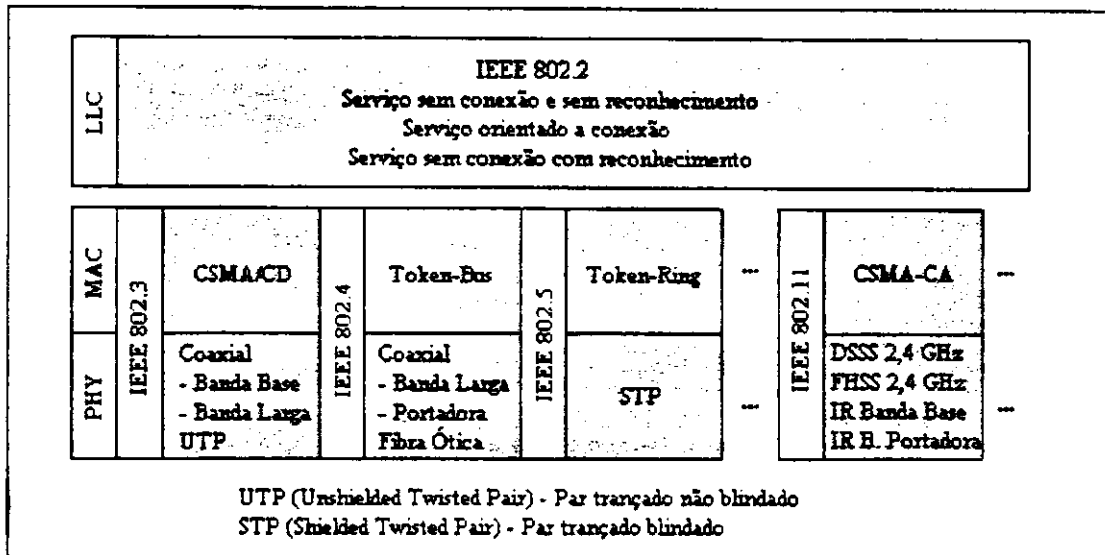
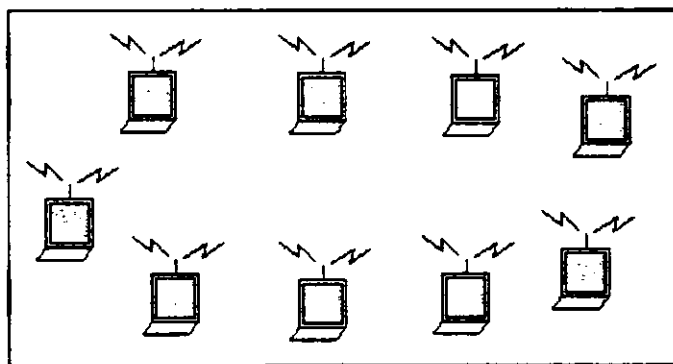


Figura 2.20. Arquitetura IEEE com o padrão IEEE 802.11.

A arquitetura básica do projeto IEEE 802.11 para redes locais sem fio, baseia-se na divisão da área coberta pela rede em células. As células são denominadas de área de serviço básico (BSA - *Basic Service Area*). Um grupo de estações comunicando-se em uma BSA, constitui um conjunto de serviços básico (BSS - *Basic Service Set*). A topologia de rede local composta por um único BSS é chamada de *Ad-hoc* [Dub97] (como exemplo: uma rede formada para uma reunião, onde os participantes conduzem seus computadores capazes de se comunicarem entre si e após o término da reunião a mesma é desfeita), a figura 2.21 exibe esta topologia.

Figura 2.21. Rede local sem fio *Ad-hoc*.

Por outro lado a topologia de uma rede composta por vários BSSs interligados através de pontos de acesso (AP - *Access Point*) conectados a um sistema de distribuição (DS - *Distribution System*), onde o sistema de distribuição geralmente representa uma rede conectada por cabos e é denominada de rede local com infra-estrutura, além de interligar os vários APs, pode fornecer os recursos necessários para interligar a rede sem fio a outras redes. Este grupo

de componentes (BSSs, APs e DS) é chamado de conjunto de serviços estendido (ESS – *Extended Service Set*) e a área de atuação de toda a rede, denomina-se de área de serviços estendidos (ESA – *Extended Service Area*), conforme ilustrado na figura 2.22. As funções básicas dos APs são: autenticação, associação e reassociação (permitem que estações continuem conectadas à infra-estrutura mesmo quando se movimentam entre os BSSs), sincronização (estações associadas a um AP estão sincronizadas por um relógio comum) e gerenciamento de potência (estações podem trabalhar economizando energia⁴, deste modo o AP armazena Quadros endereçados a estações que estão poupando energia).

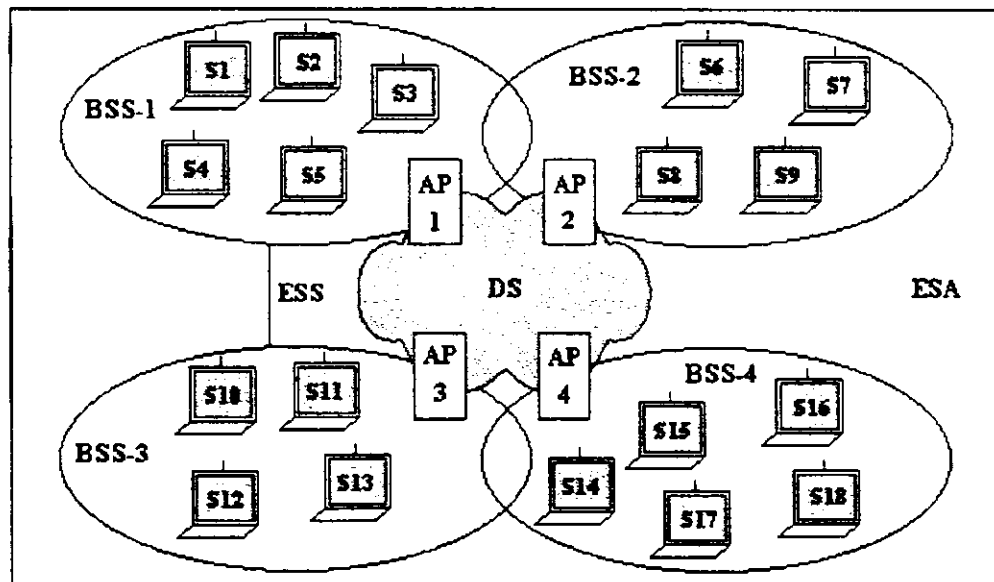


Figura 2.22. Componentes de um sistema IEEE 802.11 (WLAN).

2.8.1. CAMADA FÍSICA (PHY)

Os padrões que têm sido desenvolvidos para a camada física são: espalhamento espectral por seqüência direta (DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum*), espalhamento espectral por saltos em frequência (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*) e infravermelho difuso (*diffuse infrared*). As faixas de frequência de operação para o projeto IEEE 802.11, diferem de país para país. Por exemplo nos Estados Unidos para operação com DSSS, a faixa de frequência é 2.4 GHz a 2.4835 GHz, muito embora esta faixa de frequência é disponível na maioria dos países.

Duas velocidades são especificadas para o DSSS: 2 Mbps utilizando modulação DQPSK (*Differential Quaternary Phase Shift Key*) e 1 Mbps utilizando DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Key*). Foram definidos sete canais, um canal especialmente definido para o Japão e para os Estados Unidos e Europa, três pares de canais foram identificados.

Para o caso do FHSS, foi estabelecido uma taxa de 1 Mbps utilizando GFSK (*Gaussian Frequency Key Shifting*) de 2 níveis ou 2 Mbps utilizando GFSK de 4 níveis se o canal permitir. Nos Estados Unidos foram alocados 79 canais.

⁴ Power save – operação com a função de recepção desabilitada.

No caso do infravermelho, a definição consiste de um sistema IR banda básica e um sistema IR modulado por portadora, ambos de irradiação difusa. O PHY de banda básica é necessário para pequenos equipamentos de baixa potência e aplicações de baixa velocidade. A taxa de bits especificada é de 1 Mbps usando multiplexação 16-PPM (*Pulse Position Modulation*) ou 2 Mbps usando 4-PPM. O PHY de banda básica consiste de duas sub-camadas: PLPC (*Physical Layer Convergence Procedure*) e PMD (*Physical Medium Dependent*).

2.8.2. CAMADA DE ACESSO AO MEIO (MAC)

O DFWMAC é composto de dois métodos de acesso ou funções de coordenação: um método básico de acesso distribuído e um método opcional de acesso centralizado. As principais características do MAC são:

- ✓ Suportar vários meios físicos (PHYs)
- ✓ Suportar serviços assíncronos e serviços associados ao tempo (*time-bounded*)
- ✓ Gerenciar o consumo de energia (através de 4 modos)
- ✓ Gerenciar o sincronismo entre estações
- ✓ Realizar a associação com um ponto de acesso ou com outras estações
- ✓ Fornecer serviços sem concorrência ou baseados em concorrência
- ✓ Função de coordenação distribuída (CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) serve de base para uma função de coordenação centralizada

O método de acesso ou função de coordenação tem a responsabilidade de determinar qual estação deve transmitir. No método de acesso centralizado ou função de coordenação centralizada (PCF - *Point Coordination Function*), a decisão de transmissão é centralizada e garante que somente um dos nós da rede irá transmitir. Ao contrário disso, o método de acesso distribuído ou função de coordenação distribuída (DCF – *Distributed Coordination Function*), incumbe esta tarefa aos nós individuais da rede, deste modo pode haver transmissões simultâneas em um determinado instante.

O DCF é o método de acesso fundamental do MAC, que permite compartilhamento do meio através da técnica CSMA/CA. Esta técnica funciona da seguinte forma: a primeira tarefa da estação que deseja transmitir é verificar o meio, se desocupado, transmite a informação. Caso contrário, a estação aguarda por um intervalo de tempo (*timeout*), após o término do *timeout*, a estação verifica novamente o meio e se estiver livre, transmite a informação, senão, aguarda novamente por outro *timeout* e assim por diante.

Um aperfeiçoamento (opcional) do método pode ser requisitado em alguns casos com a finalidade de reduzir a possibilidade de colisões, por intermédio do envio/aguado dos Quadros de controle RTS (*Request to Send*)/CTS (*Clear to Send*), respectivamente. Significa que quando uma estação desejar transmitir, a mesma deverá enviar um quadro RTS e aguardar por um CTS. Quando a estação destino receber o RTS, se estiver livre, transmite um CTS e passa a aguardar dados. Após a estação que deseja transmitir receber o CTS, passa a enviar os quadros de dados, conforme ilustração da figura 2.23.

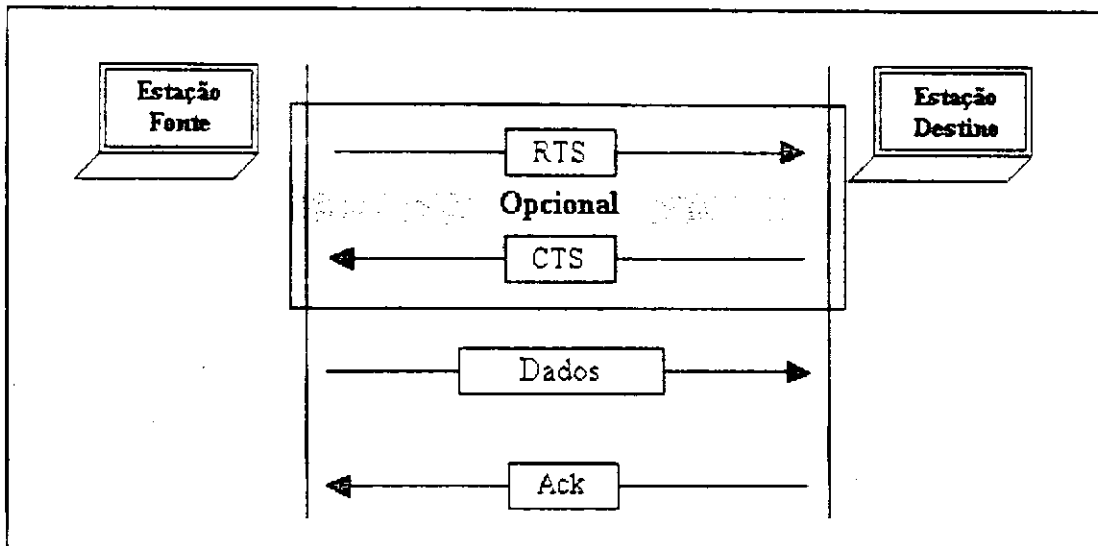


Figura 2.23. Aperfeiçoamento do método com RTS/CTS.

No mecanismo de acesso CSMA/CA, a estação verifica o meio e aguarda um tempo IFS (*Inter-Frame Space*) antes de poder acessar o meio. Isso depende da prioridade que pode ser:

- ✓ **Alta prioridade** (tempo curto – *Short IFS*) para quadros de confirmação (Ack).
- ✓ **Média prioridade** (tempo intermediário PIFS – *Point Coordination Function IFS*) para transmitir quadros do período sem concorrência.
- ✓ **Baixa prioridade** (tempo longo DIFS – *Distributed Coordination Function IFS*).

A figura 2.24 ilustra essas definições.

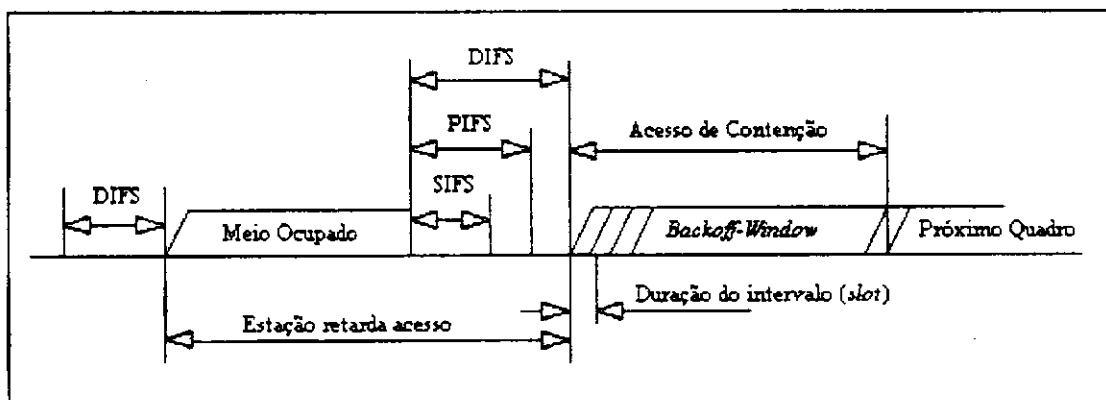


Figura 2.24. Mecanismo de acesso CSMA/CA com prioridade PCF.

2.9. REDES ATM SEM FIO (WATM – WIRELESS ATM)

Primeiramente é instrutivo rever que a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) teve seu principal objetivo de integrar serviços em alta velocidade através de uma única infraestrutura para dados, voz e vídeo. E a área abrangida deve ser desde redes de longa distância (WAN – *Wide Area Network*), redes metropolitadas (MAN – *Metropolitan Area Networks*), e redes locais (LAN – *Local Area Networks*). A figura 2.25 mostra a topologia de uma rede em um campus universitário, utilizando a tecnologia ATM integrando diversas outras tecnologias como: *Token ring*, FDDI, *Ethernet*, etc., através de cabos. Neste tópico é fornecido uma visão geral do conceito ATM e as razões e desafios de sua necessidade no meio sem fio (WATM) ([Aca96] [Agr96] [Aky96a] [Arm95] [Aya96] [Fal96] [Pry93] [Ray96] [Tan96] [Ume96] [Wal96] [Toh97]).

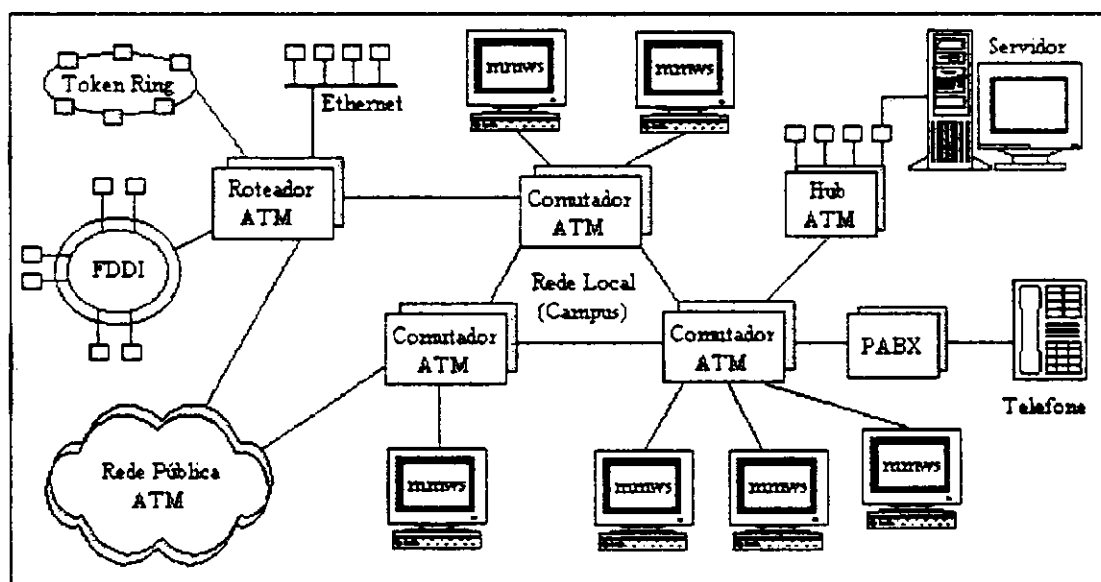


Figura 2.25. Rede ATM em um Campus.

Um dos primeiros serviços de comunicações pessoais (PCS – *Personal communications Services*) foi iniciado no Japão, denominado de PHS (*Personal Handy Phone System*) e após pouco tempo do seu início, o número de usuários de comunicações móveis tem excedido os dez milhões no Japão (1996), incluindo telefone celular e PHS. Por outro lado, a performance de PCs (*Personal Computer*) e WSs (*Workstations*) tem crescido muito rapidamente e isto tem possibilitado as comunicações em multimídia, onde os usuários enviam e recebem vários tipos de informação tais como: voz, texto, vídeo e dados. A demanda por usuários para transmissões em alta velocidade e capacidade do uso de multimídia em comunicações móveis através de dispositivos portáteis tais como: laptop, PDAs (*Personal Digital Assistants*), e PIAs (*Personal Information Assistants*), já é uma realidade confirmada principalmente nos grandes centros.

De acordo com o exposto, ATM sem fio, está sendo desenvolvido com uma atenção significativa, no sentido de se tornar uma solução para as comunicações móveis de multimídia, bem como para transmissão de qualquer outro tipo de informação. A tabela 2.5 ilustra o uso de aplicações típicas de multimídia, onde inclui, voz, dados, fotografia ou imagem parada e vídeo em movimento. Para suportar essas aplicações, é necessário cobrir uma grande gama de serviços em taxas de bits que vão desde dezenas de *kilobits* por segundo a 10 Mb/s na taxa

mais alta, e suportar vários tipos de serviços como: CBR (*Constant Bit Rate*), VBR (*Variable Bit Rate*), ABR (*Available Bit Rate*), e UBR (*Unspecified Bit Rate*). Em adição, o atraso (*delay*) e taxa de erro (*error rate*) requerido, depende da aplicação. Essas aplicações multimídia também requerem sistemas sem fio que suportem uma grande gama de transmissões em alta velocidade, e controle da qualidade de serviço (QoS), onde a rede *Ethernet* convencional não pode suportar. ATM é a única tecnologia válida que pode suportar a mesclagem de informação multimídia com uma única interface de rede por usuário (UNI – *User-Network Interface*).

Aplicação	Tipo de serviço	Atraso (delay)	Taxa de erro	Taxa de bit
Voz/Áudio	CBR	Atrelado	Média	8-128 Kb/s
Dado digital	ABR/UBR	Não atrelado	Baixa-Média	0.1-1.0 Mb/s
Video-Telefone	CBR	Atrelado	Baixa	3874 Kb/s
Video em movimento (MPEG1/MPEG2)	CBR/VBR	Atrelado	Baixa	1.5-6 Mb/s
Transferência de arquivo	ABR/UBR	Não atrelado	Baixa-Média	1.0-10.0 Mb/s

Tabela 2.5. Aplicações típicas de serviços multimídia.

O ATM é capaz de operar em dois modos potenciais. O primeiro modo é comumente denominado de “modo nativo ATM” (*native mode ATM*) e significa que programas de aplicações usam diretamente o ATM por meio de uma camada de adaptação (AAL – *ATM Adaptation Layer*), como ilustrado no item (A) da figura 2.26. O segundo modo enxerga o ATM como um meio de transporte para a pilha de protocolos existente que é o TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), e é denominado de “TCP/IP sobre ATM” (TCP/IP over ATM), como ilustrado no item (B) da figura 2.26.

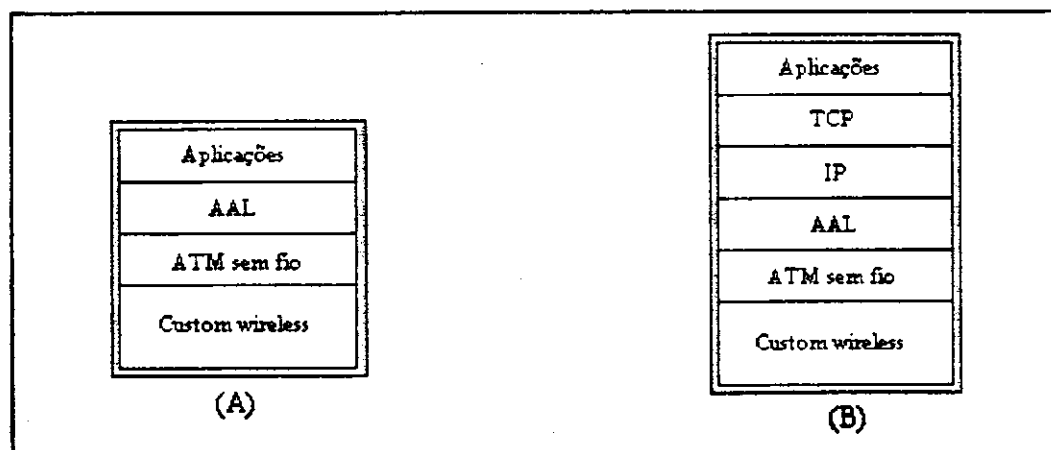


Figura 2.26. (A) Modo nativo ATM, (B) Modo TCP/IP sobre ATM.

É esperado que muitas aplicações de vídeo e voz usarão o modo nativo ATM, e aplicações de dados podem usar tanto o modo TCP/IP sobre ATM como o modo nativo ATM. Por conseguinte, pode ser esperado que aplicações de distribuição sem fio de vídeo residencial usarão o modo nativo ATM, uma vez que para LANs sem fio ambos os modos podem ser aplicáveis. A figura 2.27 fornece uma ilustração do sistema ATM sem fio e a correspondente pilha de protocolos.

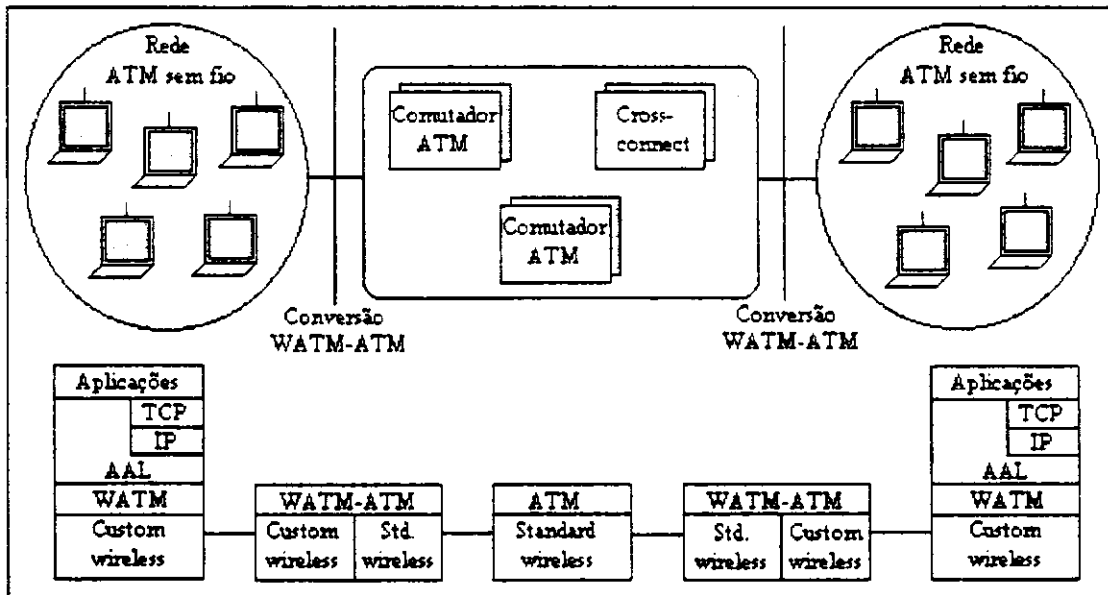


Figura 2.27. Um sistema ATM sem fio e a pilha de protocolos correspondente.

Existem diferenças significativas entre suportar um dos dois modos, no que diz respeito ao ATM sem fio, especialmente para aplicações em LANs sem fio. Em uma LAN sem fio, os usuários podem ser móveis. No meio TCP/IP, já existem várias propostas conhecidas como IP móvel (*Mobile IP*) melhor especificado em capítulo posterior, com o objetivo de suportar comunicações sem fio para usuários móveis. Entretanto esses recursos são principalmente para aplicações de dados, e não é muito claro se eles podem trabalhar satisfatoriamente para áudio e vídeo.

Uma outra questão com relação ao TCP/IP sobre ATM versus o modo nativo ATM é relativa ao rádio. O ponto neste caso, é onde a camada de adaptação do ATM (AAL) será alocada. Se esta locação é na estação base, requerimentos sobre o rádio podem ser simplificados pelo fato dos tamanhos dos pacotes poderem ser grandes (pacotes IP grandes). A principal desvantagem neste caso é que a estação base fica mais complicada, cuja complexidade aumenta com o número médio de usuários ativos.

2.10. COMUNICAÇÕES PESSOAIS SEM FIO

As comunicações pessoais sem fio passam a contar com uma nova técnica que tem como denominação PCS (*Personal Communications Services*) atribuída pelo FCC, PCN (*Personal Communications Networks*) atribuída pelo resto do mundo e mais recentemente PCI (*Perso-*

nal (*Communications Interface*) atribuída pela empresa *Northern Telecom Inc.* No entanto a denominação não importa, uma vez que estes novos serviços são dirigidos em função das massas. Por outro lado o termo PCS parece englobar as demais denominações e tende a integrar serviços de comunicações pessoais, deste modo o termo adotado neste item é PCS pelo fato de existir um grande número de publicações envolvendo este conceito ([Bar94] [Fri94] [Zai94] [Cal94] [Hay94] [Coo94] [Cox95] [Pad95] [Gar96] [Hus96] [Lin96] [Moh96] [Noe96] [Var96] [Abr96] [Aky96b] [Yue96] [Bor96] [Sal97]).

Para o propósito de padronização, PCS é usado como um termo geral para descrever serviços e suportar sistemas que proporcionam aos usuários a habilidade de comunicação em qualquer tempo, em qualquer lugar e de qualquer forma. Esta definição abrange os conceitos de mobilidade de terminais (*terminal mobility*), mobilidade pessoal (*personal mobility*) e mobilidade de serviço (*service mobility*). A mobilidade de terminais, faz uso da tecnologia sem fio, deste modo permite o usuário se mover enquanto está utilizando os serviços de telecomunicações. A mobilidade pessoal e a mobilidade de serviço são alcançados através da funcionalidade de um “número pessoal” associado com uma pessoa e um perfil de serviço da pessoa em vez de com um terminal.

Uma comparação entre PCS e tecnologia celular é proporcionada pela tabela 2.6 [Hus96], para identificar as similaridades e diferenças entre os dois.

PCS	Celular
Espectro de rádio: 1850-1990 MHz.	Espectro de rádio: 824-894 MHz.
Baixa mobilidade (<i>low-tier</i>) e alta mobilidade (<i>high-tier</i>).	Alta mobilidade (<i>high-tier</i>).
Suporte a interface de rádio digital (somente).	Suporte a interface de rádio analógico e digital.
Arquiteturas baseadas em MSC (<i>Mobile Switching Center</i>) e Classe 5.	Arquitetura baseada em MSC (apenas).
Mobilidade de terminal, pessoal e serviço.	Mobilidade de terminal apenas (corrente).
Programado o uso de cartão inteligente (<i>smart card</i>).	Não planejado o uso de cartão inteligente.
Portabilidade de serviço entre redes sem fio e redes com fio.	Proposição de várias alternativas, usando o número do celular como base ou usando o tempo do dia como futuro.

Tabela 2.6. Comparação de PCS versus celular nos Estados Unidos.

Sobre o rótulo de PCS, vários sistemas de comunicações sem fio têm alcançado um rápido crescimento devido a urgente demanda de mercado. Exemplos óbvios incluem sistemas celulares digitais com alta mobilidade como: GSM (descrito anteriormente), ADC (*American*

Digital Cellular ou IS-54), PDC (*Personal Digital Cellular*) e DCS1800 (*Digital Communication System* a 1800 MHz), para serviços de larga difusão em veículos e pedestres, e sistemas de telecomunicações com baixa mobilidade baseados em: CT2 (*Cordless Telephone 2*), DECT (*Digital European Cordless Telephone*), PACS (*Personal Access Communications Systems*), e PHS (*Personal Handy Phone System*), padrões para aplicações em residências, negócios e acesso a aplicações pública sem fio. Embora a arquitetura de tais sistemas seja bastante diferente, seus sucessos individuais podem sugerir um caminho potencial para alcançar uma visão completa do PCS: integração de diferentes sistemas PCS, que é referenciado como sistemas heterogêneos PCS (HPCS – *Heterogeneous PCS*).

Para o desenvolvimento de uma interface aérea padrão para PCS, foi criado um comitê técnico denominado de JTC (*Joint Technical Committee*) composto de um grupo apropriado dentro do TIA e comitê T1. Um dos objetivos do JTC é a padronização e testes dos vários equipamentos envolvidos como: antenas e vários provedores de serviços potenciais de PCS.

CAPÍTULO 3

SOLUÇÕES A NÍVEL DE PROTOCOLOS (REDES MÓVEIS)

3.1. FAMÍLIA DE PROTOCOLOS USADOS NA INTERNET (TCP/IP)

Atualmente um grande interesse tem surgido no sentido de desenvolver computadores cada vez menores, leves e com potência suficiente para permitir ao usuário poder levá-lo facilmente de um lugar para outro, com a finalidade de viajar por exemplo. Nos dias de hoje também existe a tendência de se fornecer computadores com facilidades de se utilizar meios sem fio, deste modo informações podem ser transferidas de computadores portáteis (*notebooks, palmtops, hand-helds*, etc.) para outro computador que necessariamente não precisa ser pesado ligado a uma rede com cabos e muito menos se preocupar com sua locação. Entretanto, esta idéia encontra algumas dificuldades com respeito aos sistemas operacionais e protocolos de redes existentes que não foram originalmente projetados com este intuito. Somente recentemente tais equipamentos têm sido fabricados com potência suficiente para atender este ideal.

Um bom exemplo dos protocolos de redes existentes é fornecido pela pilha de protocolos da Internet, incluindo TCP/IP (*Transport Control Protocol / Internet Protocol*). O TCP que atua a nível de transporte (da camada OSI – *Open Systems Interconnection*), fornece serviços úteis para programas de aplicações, apresentando confiabilidade no transporte de informações. O IP que atua a nível de rede (da camada OSI) é usado pelo TCP (e outros protocolos) para realizar a distribuição e rotear pacotes de dados de um computador para outro.

É com base nestes questionamentos que têm surgido proposições para alterações desses protocolos existentes com vistas a adequá-los ao meio sem fio, bem como a mobilidade desses equipamentos.

3.2. ALTERAÇÕES PROPOSTAS NA CAMADA DE REDE (IP)

Um dos principais problemas encontrados nesta camada é o de manter uma conexão com uma estação móvel (qualquer computador portátil com capacidades de comunicação sem fio), uma

vez que esta estação está mudando constantemente de área¹, deste modo é necessário ter conhecimento de qual estação base (equipamento intermediário entre uma estação móvel e uma estação ou servidor ligado a uma rede fixa através de cabos) está atendendo esta estação móvel que acabou de migrar da estação base anterior, ou mesmo como localizar a estação móvel em suas migrações para que não haja perda de pacotes. Este problema é denominado de *hand-off* e impacta consideravelmente no desempenho da comunicação. Como a pilha de protocolos da família TCP/IP que é objeto de estudo, se comporta em tais situações, uma vez que os mesmos quando de seu projeto não previu a mobilidade dos equipamentos, tendo-se em vista um endereço fixo e único para cada estação. Como dito anteriormente, surgiram algumas propostas para alteração na camada de rede (IP), e em seguida é feita uma análise de algumas destas propostas.

3.2.1. PROTOCOLO IMHP

O IMHP (*Internet Mobile Host Protocol*) é um protocolo que foi elaborado com o intuito de dar suporte a estações móveis que percorrem a Internet, sem a necessidade da troca de sua identidade, sendo também compatível com a pilha de protocolos TCP/IP ([Myl95] [Cav96] [Sou96]). Este protocolo tem apresentado fortes indícios de ser adotado como padrão pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*). As principais características são:

- ✓ Migração de estações móveis pela rede Internet, sem alteração de sua identidade (como mencionado anteriormente).
- ✓ Suportar mobilidade sobre redes locais e de longa distância, transparente ao usuário.
- ✓ Suportar poderosos esquemas de autenticação baseados em cifragem com chaves públicas, ou chaves compartilhadas. Não permite possíveis ataques que possam ser feitos a pacotes destinados a estações móveis, incluindo a interceptação ou redireção de pacotes arbitrários dentro da rede.
- ✓ Suportar roteamento otimizado, significa que um nó pode armazenar pacotes direcionados a uma estação móvel e enviá-los diretamente para esta estação no futuro.

3.2.1.1. INFRA-ESTRUTURA DO PROTOCOLO IMHP

Sua estrutura é composta de quatro entidades funcionais: estações móveis (*mobile hosts*), agentes origem (*home agents*), agentes locais (*local agents*), e agentes cache (*cache agents*). Embora definidos separadamente, a funcionalidade dessas várias entidades pode ser combinadas em um único nó. Em seguida cada uma das entidades é descrita com suas respectivas operações básicas.

- ✓ **Estação móvel** – é qualquer computador (geralmente portátil) com software adicional que permite seu movimento através da rede de uma forma transparente ao usuário e para as aplicações acima da camada de rede dentro da estação. A estação móvel possui um único endereço fixo pertencente a sua rede local de origem, como qualquer outra estação. E os correspondentes computadores (móveis ou estacionários) usam esse endereço (*home address*) para enviar pacotes para a estação móvel, independente de sua locação corrente.

¹ A mudança de área corresponde a mudança de uma célula coberta por uma estação base que atende comunicações celulares.

- ✓ **Agente cache** – é a funcionalidade dentro de qualquer nó (estação móvel ou outro computador) que mantém um “cache” de localização, contendo a ligação (*binding*) de uma ou mais estações móveis. Os nós adquirem estas ligações através do protocolo de gerenciamento de ligações (*binding management protocol*) do IMHP. Para o envio de um pacote, o agente cache consulta em seu cache de localização para ver se tem uma ligação para o endereço destino do pacote, caso possua, este roteia o pacote diretamente para a estação móvel em sua corrente localização, encapsulando (*tunneling*) o pacote através do endereço temporário (*care-of address*) obtido do cache de localização. Se não existir, o agente cache envia o pacote usando o esquema normal de roteamento da Internet, podendo o pacote ser eventualmente entregue à estação móvel por intermédio de sua rede local.

O IMHP possui seu próprio protocolo de encapsulamento visando minimizar o processamento e perda de tempo (*overhead*) causada para cada pacote encapsulado. Para encapsular um pacote, um pequeno cabeçalho é acrescentado ao pacote, conforme ilustrado na figura 3.1. O protocolo de gerenciamento de ligações estabelece para cada entrada na tabela de cache um tempo de vida (*lifetime*) e após esse tempo expirar, essa entrada na tabela é eliminada. Se o agente de cache desejar fornecer serviços continuados para pacotes endereçados a uma estação móvel particular, este pode tentar reconfirmar a ligação da estação móvel e atualizar a entrada na tabela de cache antes do tempo de vida expirar.

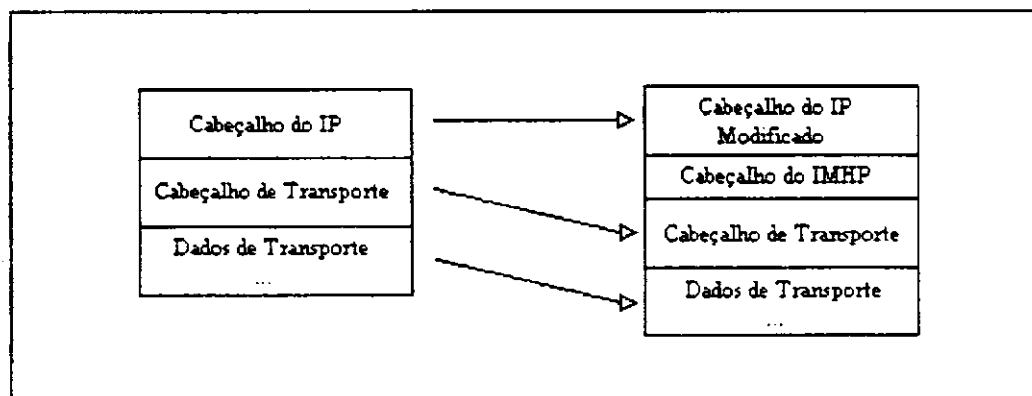


Figura 3.1. Adição do cabeçalho do IMHP para encapsular o pacote.

- ✓ **Agente origem** – cada estação móvel deve ter um agente origem que é conectado a sua rede local. Um agente origem é um equipamento que possui uma lista origem (*home list*), identificando todas as estações móveis configuradas, as quais deve servir. Este agente deve também ser utilizado como agente cache para pelo menos essas estações móveis. Do mesmo modo um agente origem pode servir como um agente local (descrito adiante) para outras estações móveis que são pertencentes a outros agentes origem.

Quando uma estação móvel está fora da área de atuação de sua rede local, a mesma deve registrar-se com o agente local, o qual está atendendo esta estação móvel no momento e também informar ao seu agente origem de sua localização atual através de um endereço temporário (*care-of address*). O objetivo do agente origem saber da localização das estações móveis as quais serve, é para redirecionar pacotes para elas enviados por outras estações que não possuem sua ligação (*binding*).

- ✓ **Agente local** – é um equipamento que possui as atribuições de atender estações móveis que se encontram em sua área de cobertura. Cada agente local mantém uma lista de visitantes (*visitor list*), identificando todas as estações móveis atualmente registradas. O agente local atribui à estação móvel um endereço temporário (geralmente o próprio endereço do agente local) e a combinação do endereço local com o endereço temporário (*care-of address*) é conhecido como ligação (*binding*) que define a atual localização da estação móvel. Quando do ato do registro da estação móvel ao agente local, ambos negociam um tempo aproximado para permanência desse registro em sua tabela.

3.2.1.2. EXEMPLO DE MOBILIDADE

Neste item a operação do IMHP é ilustrada conforme o exemplo de configuração exibido na figura 3.2. Esta configuração, inclui três agentes locais, três agentes origem e seis estações móveis. Ainda conforme ilustração da figura 3.2, as estações móveis [M1, M2], [M3, M4] e [M5, M6] estão associadas aos seus respectivos agentes origem 1, 2 e 3. Neste exemplo é assumido que tanto as estações móveis como os agentes locais também possuem a funcionalidade de agentes cache.

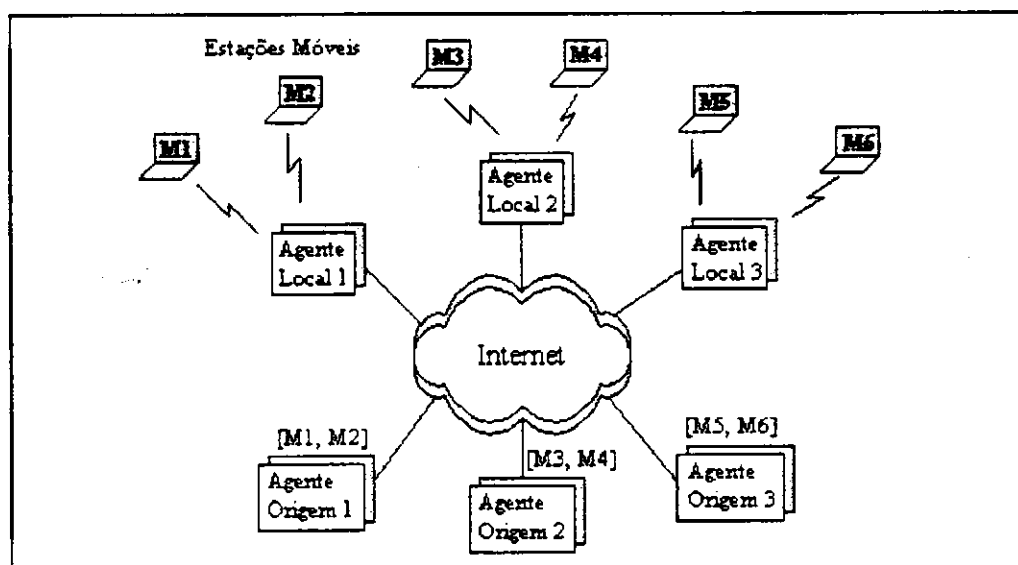


Figura 3.2. Exemplo da arquitetura do IMHP.

Observar que neste exemplo, as estações M1 e M2 encontram-se registradas no mesmo agente local 1, e caso as mesmas queiram trocar informações, não há necessidade de encapsulamento de pacotes. Por outro lado, se a estação M1 desejar enviar informações para a estação M3, a mesma usará sua rota atual (*default*) agente local 1. Assumindo que o agente local 1 inicialmente não tenha uma ligação para M3. O agente local 1 envia o pacote usando o mecanismo de roteamento normal da Internet. Deste modo o pacote segue para a rede local da estação M3 e é interceptado pelo agente origem 2, e por sua vez o agente origem 2 como conhece a locação atual (*care-of address*) da estação M3, encapsula o pacote para o agente local 2. No entanto o agente local 2 consulta sua lista de visitantes para poder enviar o pacote para a estação M3.

O agente origem 2 pode entender que M1 provavelmente não tenha uma ligação para M3 pelo fato de o pacote ter sido encapsulado. Deste modo, o agente origem 2 notifica M1 para adquirir a ligação de M3, para que futuros pacotes sejam enviados diretamente. Maiores detalhes podem ser obtidos em [My195].

3.2.2. PROTOCOLO VIP

O VIP (*Virtual Internet Protocol*) introduz identificadores lógicos para estações móveis. Ele foi proposto primeiramente no ano de 1991 e posteriormente melhorado em 1993. VIP é definido como uma instância do *Virtual Network Protocol* (VN-Protocol), um protocolo da camada de rede que fornece à camada de transporte a migração transparente de estações móveis e é aplicável a qualquer protocolo de rede que opera no modo sem conexão tal como o IP, CLNP e *Xerox Internet Datagram*. As estações móveis podem migrar transparentemente através da rede Internet de duas formas: *on-line* ou *off-line*. No modo *on-line*, é permitido à estação móvel acessar a rede enquanto está se movimentando. Enquanto que no modo *off-line* a estação móvel é desconectada da rede antes de se mover. Em redes convencionais conectadas por cabos, só existe o modo *off-line*, devido as restrições físicas. Por outro lado, em redes móveis, tal como em sistemas de telefonia celular é permitido a migração *on-line*. Os serviços fornecidos pelas diversas camadas são ilustrados na figura 3.3.

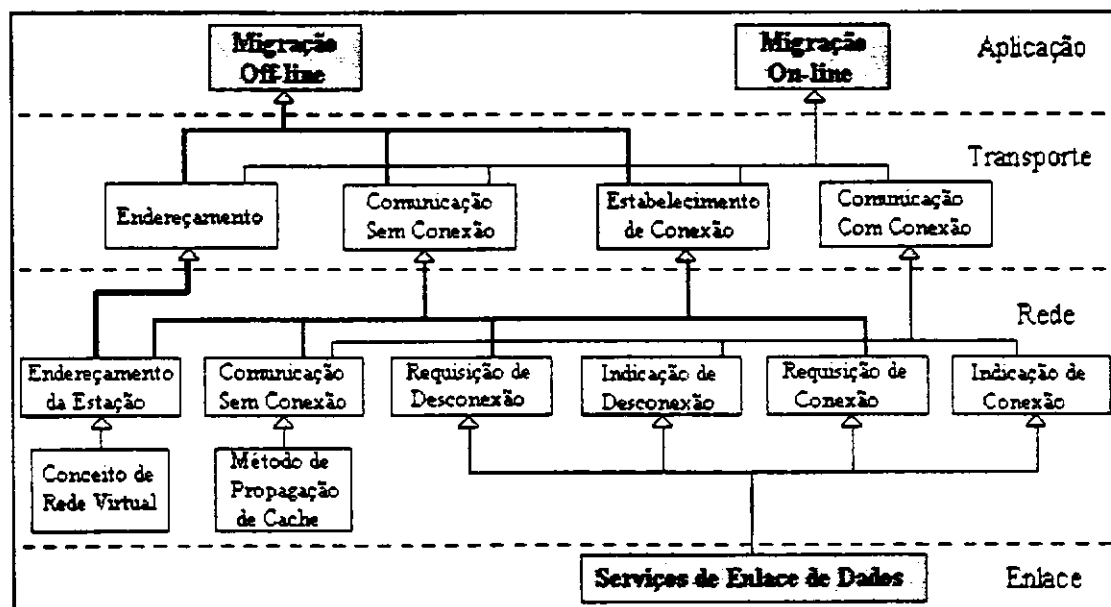


Figura 3.3. Relacionamento entre os Serviços.

O VN-Protocol é um protocolo geral que fornece mobilidade de estações aos protocolos acima da camada de rede no modo sem conexão e explora o conceito de rede virtual e o método de propagação de cache para obter os dois serviços chave definidos anteriormente. Os conceitos que seguem podem ser aplicados a ambos os protocolos VN-Protocol e VIP, no entanto, adiante são exibidas algumas correspondências no que diz respeito à terminologia usada em cada um [Ter94].

3.2.2.1 CONCEITO DE REDE VIRTUAL

O conceito de rede virtual determina que uma rede lógica está acima da rede física, permitindo deste modo aos protocolos da camada de transporte observarem apenas a rede virtual. Cada estação móvel é considerada como sempre conectada a uma mesma subrede virtual, chamada subrede origem (*home subnetwork*) da estação móvel, mesmo se esta migra para uma outra subrede física (*physical subnetwork*). Cada estação móvel possui dois endereços, um endereço da rede virtual (*virtual network address*) e um endereço da rede física (*physical network address*). Principais características do conceito de rede virtual ([Ter94] [Cav96] [Sou96]):

- ✓ A estação móvel nunca migra na rede virtual, portanto seu endereço virtual nunca muda.
- ✓ Seu endereço físico (usado para roteamento de pacotes) depende de sua localização no momento, portanto este endereço muda a medida que a estação móvel migra.
- ✓ O endereço virtual é usado pela camada de transporte para direcionar seus pacotes, deste modo o endereço físico é invisível para esta camada.
- ✓ Existe o conceito de subrede local, ou seja, quando a estação móvel se encontra em sua subrede local, seu endereço virtual é igual ao seu endereço físico.
- ✓ Uma vez que a camada de transporte usa o endereço virtual em requisição de transmissão de pacotes para a camada de rede, para esta seguir com os pacotes, a camada de rede deve fazer a resolução do endereço virtual no correspondente endereço físico. A camada de rede é responsável pela comunicação estação-para-estação, incluindo pacotes sendo retransmitidos, controle de roteamento e assim por diante. Deste modo, não é apropriado classificar esta resolução de endereço na categoria tradicional das funções básicas da camada de rede, por isso esta camada deve ser dividida em duas subcamadas, conforme ilustração da figura 3.4.

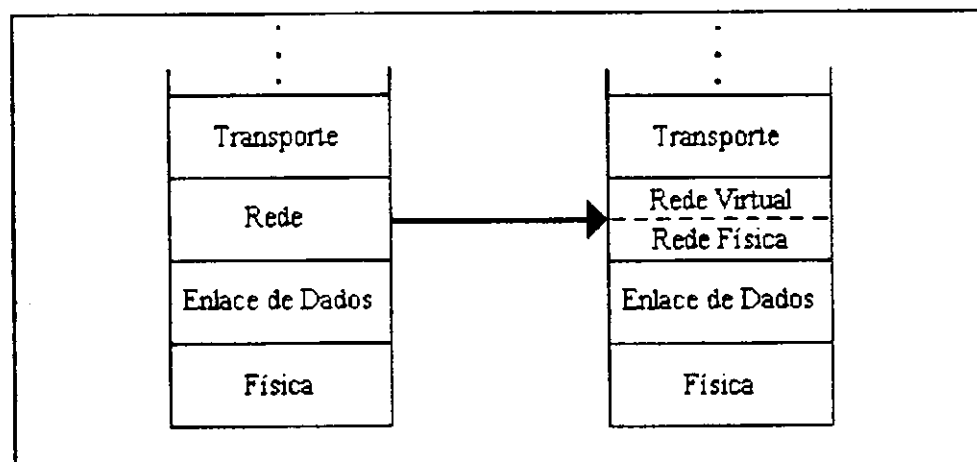


Figura 3.4. Camadas de protocolos para uma rede virtual.

3.2.2.2. MÉTODO DE PROPAGAÇÃO DE CACHE

O conceito do método de propagação de cache se aproveita de um mecanismo de cache para resolver endereços virtuais em endereços físicos. A resolução do endereço é executada pela estação origem (quem envia os pacotes) ou por roteadores intermediários. Suas principais características são:

- ✓ Se a estação origem não conhece o endereço físico da estação destino, a estação origem assume que a estação destino está fisicamente conectada a sua subrede local, isto significa que o endereço físico é igual ao endereço virtual. Então o pacote é enviado para a subrede local da estação destino. Entretanto se um roteador no caminho possui uma entrada no cache para a estação destino, este roteador faz a resolução do endereço virtual no correspondente endereço físico da estação destino e envia o pacote diretamente, sem viajar pela rota inteira até chegar na subrede origem.
- ✓ Um cache é criado ou atualizado, usando pacotes recebidos.
- ✓ Uma estação móvel é chamada estação familiar (*family host*), quando a mesma se encontra em sua subrede local.
- ✓ O relacionamento entre o endereço virtual e o endereço físico de uma estação familiar é sempre mantida por estações ou roteadores em sua subrede local.
- ✓ Este método possui uma tabela de mapeamento de endereços que é denominada de AMT (*Address Mapping Table*).

3.2.2.3. CARACTERÍSTICAS DO VIP E VN-PROTOCOL

Esses protocolos possuem dois tipos de pacotes de controle: o pacote CAMT (*Create an AMT entry*) com o objetivo de criar uma entrada na tabela AMT para uma estação móvel específica e o pacote InvAMT (*Invalidate an AMT entry*) com a finalidade de invalidar uma entrada na tabela AMT. Um pacote de informação bem como um pacote CAMT cria ou atualiza uma entrada na tabela AMT quando é transmitido ou recebido. Um roteador que executa resolução de endereços é denominado de “resolvedor de endereço” (*Address Resolver*). A resolução de endereços para pacotes destinados a uma estação em migração é executada tanto pela estação fonte como por um resolvedor de endereço.

Existem três tipos de resolvedores de endereços para cada estação em migração: resolvedor de endereço primário (*primary address resolver*) que está localizado na subrede local da estação em migração e possui a entrada mais recente na tabela AMT, resolvedor de endereço secundário (*secondary address resolver*) que está em uma subrede diferente da subrede local da estação em migração, no resolvedor de endereço secundário, pode ficar uma entrada obsoleta, e resolvedor de endereço temporário (*temporary proxy*) é um tipo de resolvedor de endereço secundário, localizado na subrede que a estação móvel estava conectada antes da migração.

Quando uma estação móvel migra, esta deve se conectar a uma outra subrede diferente de sua subrede local. A figura 3.5 ilustra o fluxo de pacotes necessários a esta tarefa, bem como a descrição de todos os passos:

1. A estação móvel em migração envia um pacote CAMT para sua subrede local. Roteadores intermediários criam ou atualizam sua tabela AMT para esta estação, ou seja, tais roteadores se tornam resolvedores de endereços secundários para esta estação em migração. Enquanto conectada a uma subrede diferente de sua subrede local, a estação deve transmitir periodicamente um pacote CAMT.
2. Se um roteador tem uma entrada obsoleta para a estação em migração, este envia um pacote InvAMT como difusão (*broadcast*) para todas as subredes conectadas para invalidar qualquer entrada obsoleta. Quando um roteador recebe um pacote InvAMT, se ele tem uma entrada obsoleta, invalida a entrada e envia um pacote InvAMT como difusão. Caso sua entrada não seja obsoleta, este não envia o pacote InvAMT.
3. Quando um resolvidor de endereço primário de uma estação em migração recebe o pacote CAMT, cria ou atualiza a entrada na tabela AMT. Se tem uma entrada obsoleta, transmite um outro pacote CAMT para a subrede anterior na qual a estação esteve conectada.
4. No caminho do pacote CAMT transmitido pelo resolvidor de endereço primário, o mesmo processo é executado, conforme descrito no passo 2.

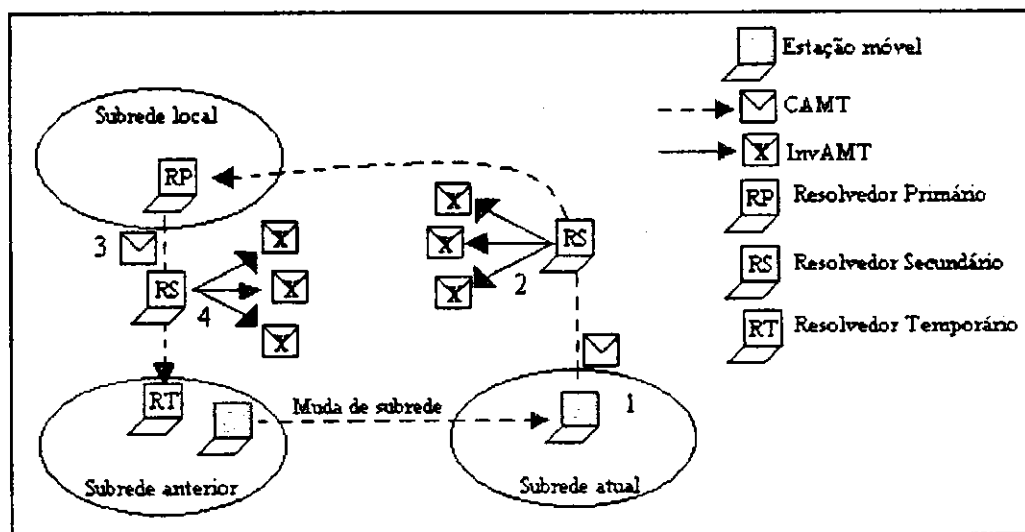


Figura 3.5. Conexão da estação móvel.

Na comunicação de dados, a figura 3.6 ilustra o fluxo de pacotes em quatro casos diferentes, como descrito em seguida:

- ✓ No primeiro caso (A), se a estação origem tem uma entrada na tabela AMT para a estação destino, executa a resolução de endereço e o pacote percorre a rota ótima.
- ✓ No segundo caso (B), se a estação origem não tem uma entrada na tabela AMT para a estação destino, assume que a estação destino se encontra em sua subrede local (endereço físico igual ao endereço virtual). Então o pacote segue para a subrede local, se um roteador intermediário tem uma entrada na tabela AMT para a estação destino, executa a resolução de endereço e remete (*forwards*) o pacote.

- ✓ No terceiro caso (C), um resolvidor de endereço primário recebe um pacote endereçado para a subrede local da estação destino, então executa a resolução de endereço e remete o pacote.
- ✓ No quarto e último caso (D), um roteador tem uma entrada obsoleta na tabela AMT para uma estação destino, executa a resolução de endereço para o pacote endereçado para a subrede local da estação destino. O pacote segue para a subrede anterior a qual a estação destino esteve conectada. Um resolvidor de endereço temporário (*temporary proxy*) na subrede anterior executa a resolução de endereço e remete o pacote para a localização correta.

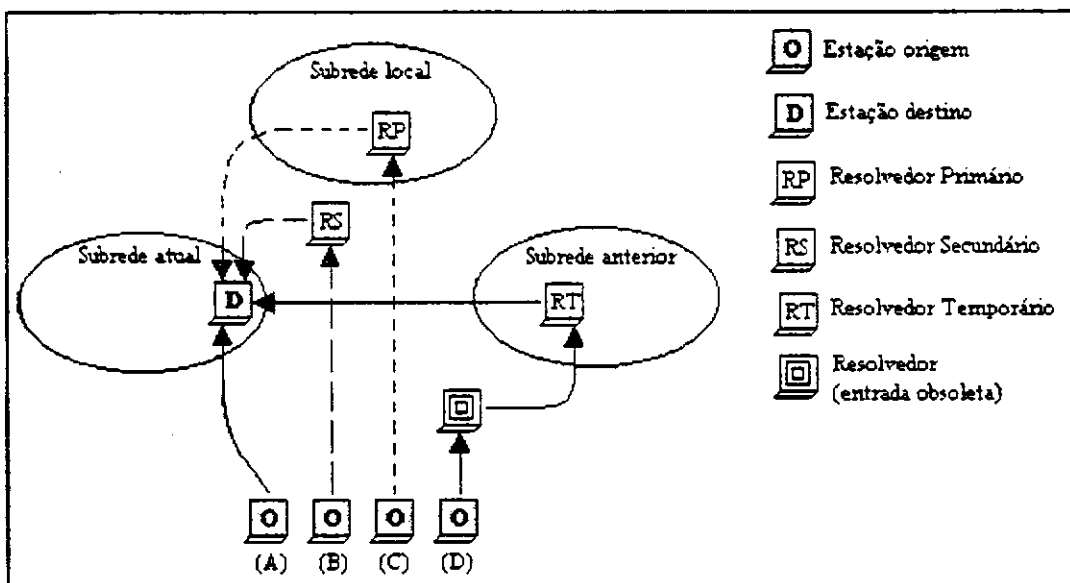


Figura 3.6. Comunicação de dados.

O fluxo de pacotes quando uma estação em migração se desconecta de uma subrede ou simplesmente é desligada, é exibido na figura 3.7 e a respectiva descrição dos passos necessários.

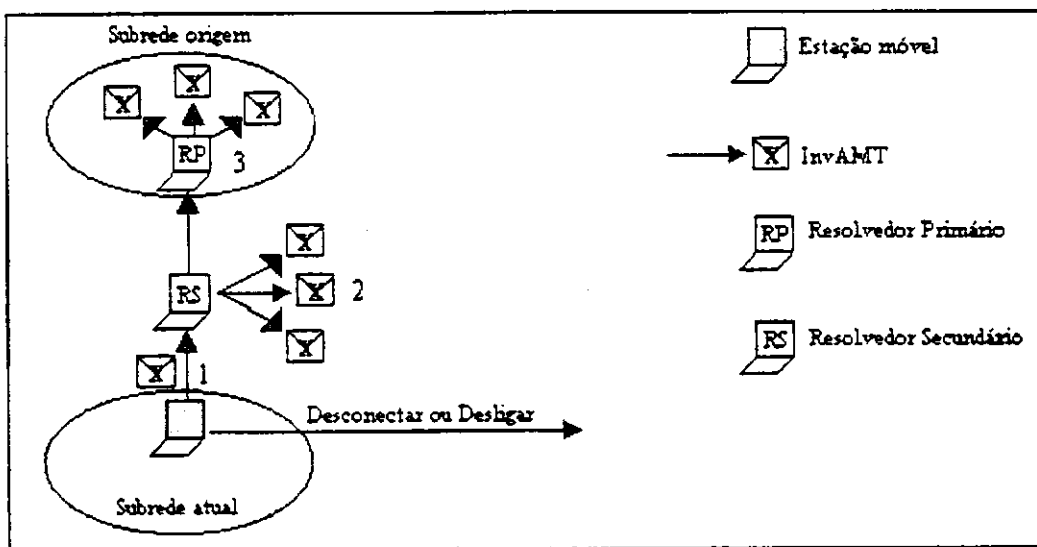


Figura 3.7. A estação se desconecta ou é desligada.

1. Neste passo, a estação móvel pode transmitir um pacote InvAMT para sua subrede local, observar que a estação pode omitir este procedimento.
2. No caminho do pacote InvAMT, se um roteador intermediário tem uma entrada obsoleta na tabela AMT, o mesmo envia como difusão um outro pacote InvAMT para todas as subredes conectadas.
3. Quando um resolvidor de endereço primário de uma estação móvel em migração recebe um pacote InvAMT e se tem uma entrada inválida em AMT, difunde um pacote InvAMT para todas as subredes conectadas.

O protocolo VIP é derivado do IP pelo fato de ser considerado como uma instância do VN-*protocol*. A correspondência entre os dois protocolos VIP e VN-*protocol* pode ser comparada conforme a tabela 3.1.

VN-protocol	VIP
Endereço virtual (VN- <i>address</i>)	Endereço VIP (VIP <i>address</i>)
Endereço físico (PN- <i>address</i>)	Endereço IP
Subrede local (<i>home subnetwork</i>)	A subrede indicada pelo número da rede do endereço VIP
Resolvidor de endereço primário (<i>Primary address resolver</i>)	Roteadores conectados a subrede local de uma estação em migração (<i>home routers</i>)
Resolvidor de endereço secundário (<i>Secondary address resolver</i>)	Roteadores conectados a subredes diferentes da subrede local de uma estação em migração
Resolvidor de endereço temporário (<i>Temporary proxies</i>)	Roteadores conectados a subredes anteriores de uma estação em migração

Tabela 3.1. Correspondência entre os protocolos VN-*protocol* e VIP.

3.2.3. PROTOCOLO COLUMBIA MHP

A base do protocolo Columbia MHP (*Mobile Host Protocol*) é a definição de uma subrede móvel virtual (*virtual mobile subnet*) que é formada por um pequeno número de roteadores denominados de MSRs (*Mobile Subnet Routers*) com o objetivo de cooperação entre si para a manutenção da mesma, e estão posicionados nos locais prováveis onde as estações móveis podem ser conectadas. Os MSRs fazem parecer para o resto da rede que a subrede móvel virtual é uma subrede real conectada a uma infra-estrutura existente de MSRs atuando como roteadores ([Myl93] [Cav96]). As principais características do protocolo Columbia MHP são:

- ✓ Quando uma estação móvel migra de um MSR para outro, esta detecta a migração e se registra no novo MSR e também informa ao MSR anterior sua nova localização.

- ✓ Se um MSR recebe um pacote para uma estação móvel que está registrada localmente, o pacote é enviado diretamente, caso contrário, o pacote é enviado usando um protocolo de encapsulamento para o MSR que afirma ter a estação móvel registrada.
- ✓ Geralmente uma entrada apropriada para uma estação móvel é encontrada no cache, mas se não existir, o MSR envia uma mensagem para outros MSRs questionando a respeito da corrente locação desta estação móvel. Quando a resposta chega, o MSR envia a mensagem para o MSR que respondeu, e guarda esta informação para uso futuro.
- ✓ Informações armazenadas no cache são periodicamente expurgadas e os MSRs cooperam entre si para assegurar que entradas incorretas no cache sejam rapidamente detectadas e eliminadas.

Considerações importantes a respeito do protocolo Columbia MHP:

- Esta técnica é apropriada somente para um número limitado de MSRs, assim reduz sobremaneira a mobilidade das estações, ou seja, em um número limitado de locações.
- O Columbia MHP tenta superar esta limitação através de uma técnica chamada *popup* que define um modo de operação em uma grande área. Neste modo, uma estação móvel quando chega a uma nova locação, adquire um endereço temporário e se registra com um MSR em sua rede local. O MSR atua como se a estação móvel tivesse sido registrada normalmente, mas envia os pacotes para a esta, encapsulando-os diretamente para o endereço temporário.

A tabela 3.2 mostra uma comparação entre os três protocolos analisados:

Crítérios	IMHP	Columbia MHP	VIP
Procedimento de migração confiável	Sim	Sim	Sim
Migração pela Internet sem alteração de sua identidade	Sim	Não	Não
Mobilidade transparente sobre redes locais e de longa distância	Sim	Sim	Sim
Roteamento otimizado	Sim	Sim	Sim

Tabela 3.2 Comparação entre os três protocolos analisados.

3.3. ALTERAÇÕES PROPOSTAS NA CAMADA DE TRANSPORTE (TCP)

Neste tópico, analisamos os principais problemas existentes a nível de transporte quando ocorre o movimento de estações entre células, denominado de handoff, e causa atraso e perda de pacotes, enquanto a rede aprende como rotear dados para esta estação em sua nova locação. Protocolos de transporte confiáveis tem sido ajustados para redes convencionais com estações fixas. Eles são adaptados para não alterar a semântica fim-a-fim da vida de uma co-

nexão, e interpretam atrasos inesperados como perda de pacotes causadas pelo congestionamento na rede.

Quando acontece um *handoff*, o protocolo TCP ativa um processo de controle de congestionamento que imediatamente reduz a taxa de transmissão abruptamente, promovendo uma degradação na performance. Ativar o processo de controle de congestionamento é eficiente para ambientes de redes convencionais, onde o constante atraso ou perda de pacotes determina congestionamento na rede. No entanto para redes móveis esta hipótese nem sempre é verdadeira. Por outro lado o controle de congestionamento realizado por estes protocolos tem levado a grande ganho de desempenho.

Redes de computadores em breve deverão incluir ligações sem fio e equipamentos móveis em suas arquiteturas. Em particular serão redes locais compostas de células sem fio de poucos metros de diâmetro. Tais redes usam picocélulas pelas seguintes razões importantes: elas oferecem grande largura de banda, requerem pouca potência nos transceptores móveis, e fornecem informações precisas a respeito da locação. Usuários em meios de picocélulas muitas vezes percorrem com seus equipamentos por entre as células sem avisar e muito pior em meio a transferência de dados [CÁC94].

As conexões a nível de transporte encontram tipos de atrasos e perdas que não se referem a congestionamento. Como por exemplo a comunicação pode sofrer uma pausa devido a um *handoff* entre células que ainda não se completou, e nesse ínterim pacotes podem novamente ser roteados para uma estação móvel ou originados desta mesma estação móvel. Um outro exemplo seria, pacotes que podem ser perdidos devido a transmissões inúteis quando uma estação móvel sai fora do alcance de outros transceptores, especialmente em redes com poucas células ou quando não existe sobreposição entre as mesmas. E ainda um outro exemplo seria que pacotes podem ser perdidos devido a erros relativos de transmissão sofridos pelo meio sem fio que é caracterizado por possuir limitada largura de banda, alta latência, alta taxa de erros por bit de uma forma esporádica e desconexões temporárias, que os protocolos de redes bem como aplicações devem aprender a lidar. Alguma degradação de performance devido a esses atrasos e perdas é inevitável, pelo menos até o momento.

Em função dos problemas relatados, é necessário se fazer pesquisa para encontrar a solução quando se trabalha com redes móveis. Existem dois principais grupos de propostas para alteração no TCP, visando resolver esses problemas e cada grupo propõe conforme indicado em seguida:

- ✓ O primeiro grupo trabalha na hipótese de se obter informações da camada de rede sobre a movimentação da estação móvel, com vistas a adequar o processo de controle de congestionamento para não haver perda de desempenho. Isto significa que alterações devem ser feitas tanto na camada de rede como na de transporte.
- ✓ O segundo grupo pretende trabalhar no sentido de não ativar o processo de controle de congestionamento quando da ocorrência de um *handoff*, escondendo da camada de transporte a migração da estação móvel. Significando que não há necessidade de alterações a nível de transporte na parte fixa da rede.

Em seguida é feita uma análise das várias propostas estudadas com a finalidade de resolver os problemas a nível de transporte, conforme os dois grupos de propostas.

3.3.1. MODELO FAST RETRANSMISSION

Esta proposta pertence ao primeiro grupo que trabalha na hipótese de se obter informações da camada de rede sobre a movimentação da estação móvel. Isto significa que alterações devem ser feitas tanto na camada de rede como na de transporte, permitindo que haja troca de informações entre as duas camadas para saber da migração da estação móvel. O objetivo desta informação é restabelecer a comunicação o mais rápido possível assim que a mesma se torne consistente para que a retransmissão seja iniciada, não considerando a espera pelo *timeout*.

Em algumas implementações mais recentes do TCP, é previsto o processo de retransmissão rápida (*fast retransmission*) quando um transmissor recebe pacotes de reconhecimento triplicados, deste modo o pacote é considerado perdido e não há necessidade de esperar o *timeout* e se inicia a retransmissão do último pacote perdido e também ativa o algoritmo de *slow-start*.

Seguem algumas mudanças necessárias tanto no IP como no TCP para adequar ao modelo de retransmissão rápida (*fast retransmission*) e conciliar o problema de *handoff*:

- O *software* IP da estação móvel deve sinalizar ao *software* TCP quando um reconhecimento de comunicação estabelecida chega da nova estação base.
- O transmissor na estação móvel invoca retransmissão rápida quando ele recebe tal sinal da nova estação base.
- Em seguida o *software* TCP da estação móvel deve enviar um sinal para a estação fixa para que a mesma ative a retransmissão rápida.

Neste modelo se consegue um ganho de desempenho evitando longas pausas na transmissão, muito embora o problema de *handoff* continua a degradar o desempenho da comunicação.

3.3.2. EXTENSÃO DA FASE SLOW-START

Este modelo trabalha também no primeiro grupo, onde há a necessidade de alteração da camada de transporte e de rede. Variáveis de controle em ambos os lados de uma conexão TCP devem existir para sinalizar tamanho de *buffer* do receptor bem como controle de congestionamento.

No controle de congestionamento do TCP, que é ativado após a perda de pacotes, a janela de controle de congestionamento é reduzida drasticamente e a quantidade de *bytes* transmitidos diminui consideravelmente. O controle de congestionamento é dividido em três fases:

- ✓ Reduz a janela de congestionamento e aumenta os valores de *timeout*, conforme pacotes são perdidos.
- ✓ O *slow-start* ou a segunda fase, tem como objetivo restaurar a janela de congestionamento, conforme chegam pacotes de reconhecimento.

- ✓ Na terceira e última fase, a função é reduzir a taxa de crescimento da janela de congestionamento, conforme estabelecido pela fase anterior. Evitando que o estado de congestionamento retorne.

Neste modelo é proposto a extensão da fase *slow-start* com vistas a não ativar a terceira fase, conseguindo assim uma rápida restauração da janela de transmissão e ganho de desempenho.

Algumas considerações a respeito deste modelo:

- ✓ É conseguido um ganho de desempenho, pelo fato de existir um rápido restabelecimento da taxa de transmissão, embora durante o processo de *handoff* ainda há perda de pacotes.
- ✓ Este modelo associado ao de *fast retransmission* obtém um ganho significativo de desempenho.

3.3.3. PROPOSTA SNOOP /ROUTING PROTOCOL

Esta proposta se enquadra no segundo grupo, onde se procura esconder da estação fixa o processo de *handoff*. A idéia desta proposta é fazer modificações na camada de rede (IP) tanto da estação base (um roteador entre uma rede tradicional com fio e uma rede sem fio) como da estação móvel, para melhorar a performance sem alterar a semântica fim-a-fim do TCP em meios sem fio. Por outro lado quando ocorre transferência de dados da estação móvel endereçada à estação fixa, é sugerida pequena alteração no código do TCP da estação móvel. As alterações propostas tentam manter a parte fixa da rede sem nenhuma modificação, bem como sem ter que recompilar nem relinkar quaisquer aplicações existentes.

Uma parte das modificações é chamada de módulo *snoop* que tem a função de armazenar inteligentemente (caching) pacotes na estação base e fazer retransmissões locais através do meio sem fio para amenizar problemas causados por altas taxas de erros por bit, monitorando o reconhecimento de pacotes TCP gerados pelo receptor. A Segunda parte é um protocolo de roteamento (*Routing Protocol*) baseado no IP móvel (*mobile IP*) que torna possível a baixa latência em um *handoff*, visando o acontecimento do mesmo com insignificante perda de dados. O *Routing Protocol* usa o esquema de *multicast*, isto significa que um grupo de estações base próximas da estação base que está atendendo a estação móvel recebem os pacotes, formando o que podemos chamar de espelhamento inteligente [Bal95].

3.3.3.1. MÓDULO SNOOP

Primeiramente é considerada a transferência de dados partindo da estação fixa (FH – *Fixed Host*) para a estação móvel (MH – *Mobile Host*) através da estação base (BS – *Base Station*). O código de roteamento da estação base é modificado, adicionando-se um módulo chamado *snoop*, que monitora todos os pacotes que passam através da conexão em ambas as direções. Observar que nenhum código da camada de transporte é executado na estação base. O módulo *snoop* mantém um cache de pacotes TCP enviados da estação fixa que ainda não foram reconhecidos pela estação móvel. Quando um novo pacote chega da estação fixa, o módulo *snoop* põe este no cache e passa para o código de roteamento que realiza as funções normais.

O módulo *snoop* também intercepta todos os reconhecimentos enviados da estação móvel. Quando a perda de um pacote é detectada, ou pela chegada de um reconhecimento duplicado ou por um *timeout* local, a estação base retransmite o pacote perdido para a estação móvel, caso exista este pacote em seu cache. Deste modo a estação base com o módulo *snoop*, esconde a perda de pacotes da estação fixa, não propagando reconhecimentos duplicados, assim previne o desnecessário acionamento do processo de controle de congestionamento do TCP.

O módulo *snoop* possui dois procedimentos linkados que são: *snoop_data()* e *snoop_ack()*. O procedimento *snoop_data()* processa e armazena pacotes enviados para a estação móvel, enquanto que o procedimento *snoop_ack()* processa pacotes de reconhecimentos (ACKs) vindos da estação móvel e realiza retransmissões locais da estação base para a estação móvel. As figuras 3.7 e 3.8 ilustram através de fluxogramas, os algoritmos resumidos dos dois módulos *snoop_data()* e *snoop_ack()* respectivamente, como também uma breve descrição dos passos seguidos.

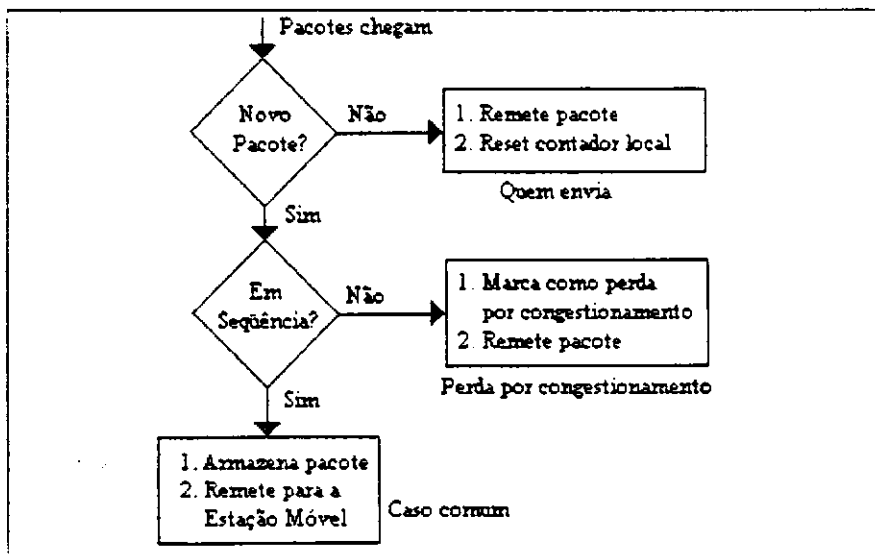


Figura 3.8. Fluxograma para o procedimento *snoop_data()*.

O módulo *snoop_data()* processa pacotes da estação fixa, como afirmado anteriormente. Um pacote (ou segmento) TCP é identificado unicamente pelo número de seqüência do primeiro byte de dados e seu tamanho. Na estação base, o módulo *snoop* guarda o último número de seqüência visto para a conexão. Um dos vários tipos de pacotes que podem chegar na estação base oriundos da estação fixa são processados de diferentes formas, observando-se o fluxograma da figura 3.7:

1. **Um novo pacote TCP chega na seqüência normal:** este é o caso comum, então o pacote é armazenado e remetido para a estação móvel.
2. **Um pacote fora de seqüência que foi armazenado anteriormente:** este é o caso menos comum, mas isto acontece quando a redução na transmissão de pacotes causa *timeouts* em quem enviou os pacotes. Poderia acontecer também quando uma massa (*stream*) de dados oriundos de uma estação usando o modo de retransmissão rápida (conforme proposta vista

anteriormente) chega na estação base. Deste modo diferentes ações são tomadas dependendo se este pacote é maior ou menor do que o último reconhecimento de pacotes.

3. **Um pacote fora de seqüência que não foi armazenado anteriormente:** neste caso o pacote foi perdido devido a congestionamento na rede fixa ou foi enviado fora de seqüência por esta rede. O pacote perdido por congestionamento é mais comum, especialmente se seu número de seqüência é mais do que um ou dois pacotes fora da seqüência do último. Este pacote é remetido para a estação móvel e também marcado como tendo sido retransmitido pela estação fixa. O módulo *snoop_ack()* usa esta informação para processar reconhecimentos duplicados que chegam para este pacote da estação móvel.

O módulo *snoop_ack()* monitora e processa reconhecimentos (ACKs) enviados de volta pela estação móvel e executa várias operações dependendo do tipo e número de reconhecimentos que este recebe. Esses ACKs podem ser interpretados em uma das três categorias, observando-se a ilustração da figura 3.8:

1. **Um novo ACK:** este é o caso comum e significa um aumento na seqüência de pacotes recebidos pela estação móvel. Este ACK inicia a liberação de todos os pacotes reconhecidos no cache do módulo *snoop*. Após mais alguns procedimentos de atualizações de tempos, o reconhecimento é remetido para a estação fixa.
2. **Um ACK espúrio:** este é um reconhecimento menor do que o último reconhecimento feito pelo módulo *snoop* e é uma situação rara de acontecer. Ele é descartado e o processamento de pacotes continua.
3. **Um ACK duplicado (DUPACK):** este é um ACK idêntico ao anteriormente recebido. Neste caso, o próximo pacote em seqüência do DUPACK não foi recebido pela estação móvel. Entretanto, alguns pacotes subsequentes da seqüência foram recebidos, assim a estação móvel gera um DUPACK para cada segmento TCP recebido fora de seqüência. Deste modo várias ações são tomadas dependendo do tipo de reconhecimento duplicado, como também do corrente estado do módulo *snoop*, conforme detalhes em [Bal95].

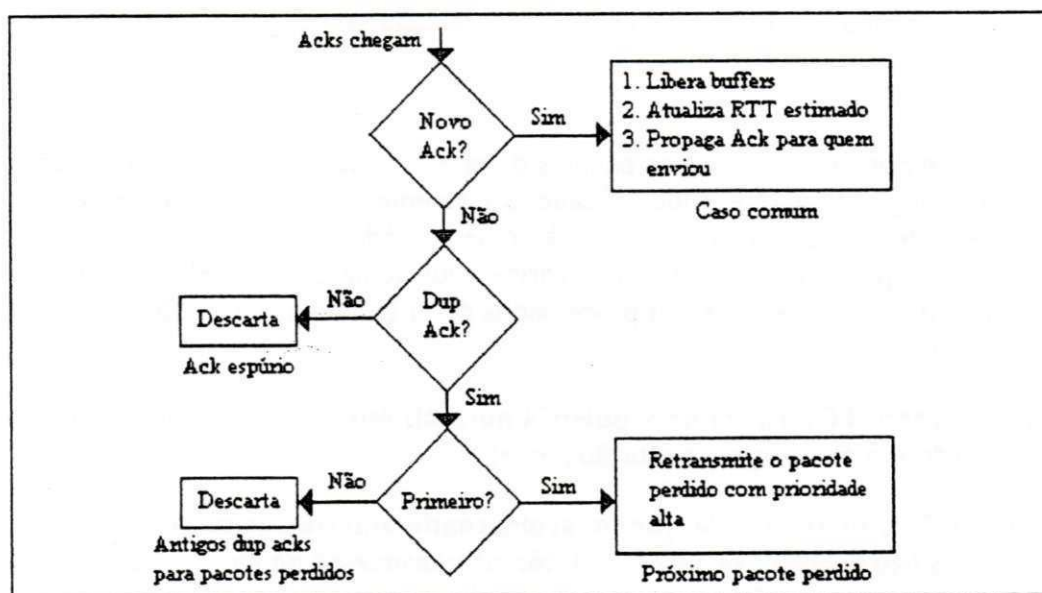


Figura 3.9. Fluxograma para o procedimento *snoop_ack()*.

Em segundo lugar é feita uma análise da transferência de dados partindo da estação móvel em direção à estação fixa. É improvável que um protocolo onde foram feitas modificações apenas na estação base, possa substancialmente melhorar a performance fim-a-fim de um grande volume de dados transferidos de uma forma confiável da estação móvel para uma outra estação da rede, enquanto preservando a semântica de reconhecimentos do TCP. Por exemplo, simplesmente armazenando pacotes na estação base e retransmitindo-os quando necessário não é muito útil, uma vez que a grande perda de pacotes acontece entre a estação móvel e a estação base (meio sem fio). Deste modo não há como a estação móvel saber se a perda aconteceu no meio sem fio ou se ocorreu devido a congestionamento na rede fixa.

Por esta razão, é proposta uma pequena alteração no código do TCP da estação móvel. Na estação base, há um monitoramento de todos os pacotes perdidos no meio sem fio. Após a detecção da perda de pacotes, a estação base gera reconhecimentos negativos (NACKs) desses pacotes para a estação móvel. Isto é especialmente útil se vários pacotes são perdidos em uma única janela de transmissão, uma situação que acontece muitas vezes em fortes interferências ou em desvanecimentos (*fades*) onde a potência e a qualidade do sinal são baixas.

O modelo *snoop* propõe que os NACKs usados sejam baseados numa opção do TCP de reconhecimentos seletivos (SACKs). Reconhecimentos seletivos não são correntemente suportados em muitas das implementações do TCP, foi introduzido para melhorar a performance de conexões TCP em redes com grande banda chamadas de LFNs (*Long Fat Networks*). A idéia básica aqui é que em adição ao acúmulo normal de ACKs, o receptor pode informar a quem enviou, que pacotes específicos não foram recebidos. O módulo *snoop* usa SACKs com o objetivo de que a estação móvel rapidamente retransmita pacotes perdidos. Observar que a habilidade de tratar SACKs é apenas da estação móvel, não havendo necessidade de nenhuma mudança no TCP da parte fixa da rede e que também não é preciso que o código do TCP seja executado na estação base.

3.3.3.2. O MÓDULO ROUTING PROTOCOL

Neste tópico são descritos os mecanismos usados neste protocolo para resolver os problemas associados com a mobilidade de usuários em redes celulares sem fio. Os efeitos indesejáveis na movimentação dos usuários incluem: perda de pacotes, interrupções nas conexões e aumento da latência. A estratégia básica de roteamento deste protocolo é similar ao *Mobile IP*. Esta estratégia é constituída de um mecanismo para distribuir pacotes oriundos da estação fixa para a estação móvel.

O *Routing Protocol* difere do *Mobile IP*, com a finalidade de suportar baixa latência, reduzir a perda de pacotes e a variação de atraso de pacotes durante o processo de *handoff*. Neste esquema, pacotes originários da estação móvel para a estação fixa, utilizam o roteamento do IP normal. No entanto quando a rota é invertida, ou seja, pacotes oriundos da estação fixa para a estação móvel, o *Routing Protocol* tem três partes básicas para rotear pacotes para a estação móvel. A primeira parte lida com a distribuição de pacotes para a máquina que entende de mobilidade, e neste caso, é usado o conceito de agente origem (*home agent*) do *Mobile IP*. A Segunda parte tem a responsabilidade de determinar a localização física da estação móvel. A terceira e última parte, deve suportar a distribuição de pacotes do agente origem para a estação móvel.

Para cada estação móvel é atribuída um endereço origem (*home address*) associado com sua localização origem (*home location*). O agente origem intercepta quaisquer pacotes transmitidos para o endereço origem usando um agente procurador (*proxy ARP*). Para cada estação móvel é também atribuída um endereço temporário de grupo IP (*temporary IP multicast address*). O agente origem encapsula os pacotes destinados à estação móvel e remete-os para o grupo de *multicast* associado.

Para determinar a localização corrente de uma estação móvel, cada estação base periodicamente difunde (*broadcast*) uma mensagem de aviso (*beacon*) para todas as estações móveis em sua área. Cada estação móvel possui um segmento das últimas mensagens de aviso recebidas para sua aproximada localização corrente e movimentação. A estação móvel usa estatísticas tais como a potência da mensagem de aviso e qualidade da comunicação para identificar quais estações base estão próximas. Esta também determina que estação base deve incluir a grupo de *multicast*, como também a provável célula para onde deve migrar. Baseado nestas determinações, a estação móvel configura o roteamento entre o agente origem e as várias estações base.

A distribuição de pacotes do agente origem para a estação base utiliza o roteamento dinâmico fornecido pelo esquema de *multicast* do IP. A estação base responsável pela célula que contém a estação móvel, junta-se ao grupo de *multicast* do IP e cada pacote transmitido do agente origem pertencente ao grupo de *multicast*, é remetido pela estação base para a estação móvel.

Mediante o estudo desta proposta, conseguimos visualizar e tecer algumas considerações que descrevemos abaixo:

- ✓ A quantidade de conexões TCP abertas em um dado instante pode ser limitada pelo processo de armazenamento de pacotes nas estações base, devido a limitação de memória de tais estações base.
- ✓ O processo de *multicast* pode ser inviabilizado quando o ambiente de comunicação sem fio é composto por picocélulas², pelo fato de existirem muitas estações base pertencentes ao mesmo grupo de *multicast*.
- ✓ Nesta proposta exige-se que o estação móvel faça algum tipo de processamento a mais para auxiliar o protocolo de roteamento. Isto não é muito conveniente devido ao fato que as estações móveis têm poucos recursos para processamento.

3.3.4. PROTOCOLO I-TCP

O protocolo I-TCP (*Indirect-TCP*) também se enquadra no segundo grupo, escondendo da estação fixa o deslocamento da estação móvel. Este modelo atua na camada de transporte de uma forma indireta, fornecendo suporte a estações móveis e é elaborado com o intuito de separar em dois o tratamento da comunicação entre a estação fixa e a estação móvel, ou seja, uma componente sendo tratada pela parte fixa e outra pela parte móvel, onde há um enlace

² Células muito pequenas, onde a estação móvel poderia passar rapidamente por várias delas.

cimento algum da indireção e não é afetada quando ocorre a mudança. A figura 3.10 fornece uma ideia de indireção.

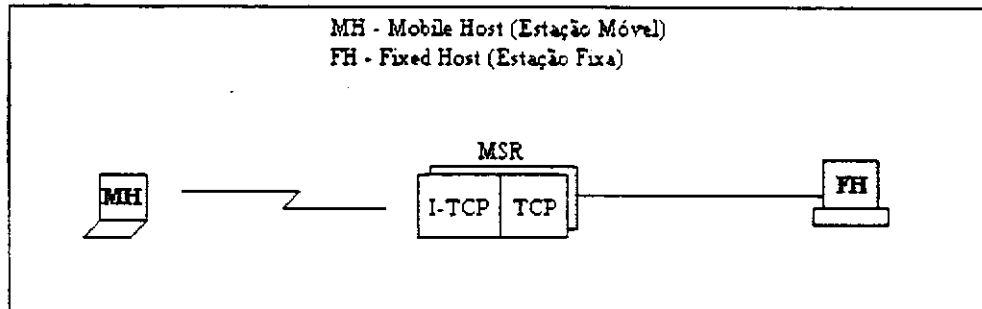


Figura 3.10. Divisão de uma conexão em duas.

Quando uma estação móvel (MH – *Mobile Host*) usando I-TCP deseja se comunicar com alguma estação fixa (FH – *Fixed Host*), a estação móvel envia uma requisição para o MSR corrente para abrir uma conexão TCP com a estação fixa em nome da estação móvel. A estação fixa vê apenas uma imagem da estação móvel no MSR. Se durante o tempo de vida da conexão a estação móvel migra, conforme ilustração da figura 3.11, a imagem é transferida para o novo MSR, ficando a migração transparente para a estação fixa.

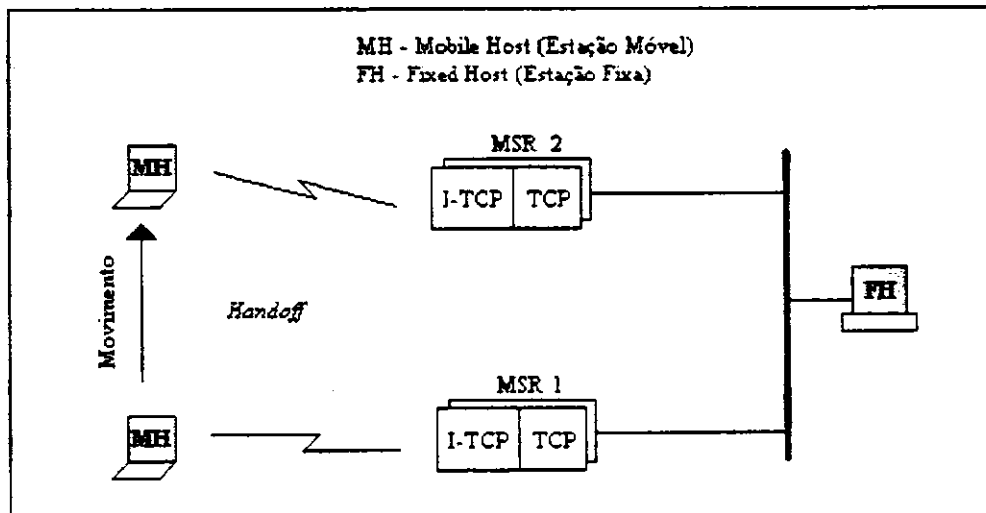


Figura 3.11. Mudança de célula (MSR1 para MSR2)

3.3.4.3. SEMÂNTICA I-TCP

Uma consequência do uso do I-TCP, é que reconhecimentos não são fim-a-fim como é o caso do TCP normal. Deste modo existem reconhecimentos separados tanto para o meio sem fio,

como para o meio com fio. Muitas aplicações que usam o TCP para transferir grande volume de dados, como é o caso do "ftp" (*file transfer protocol*) entretanto, também tem algum tipo de suporte para reconhecimento e correção de erros na camada de aplicação. Tais reconhecimentos são muitas vezes requeridos pelo fato do TCP não fornecer qualquer notificação para a aplicação que envia, quando os dados são atualmente recebidos pela aplicação parceira.

Por outro lado, pode-se argumentar que o uso do I-TCP não implica no enfraquecimento da semântica fim-a-fim em comparação com o TCP regular, considerando que não há falhas no MSR e que a estação móvel não permaneça desconectada da estação fixa por um longo período de tempo. É importante notar entretanto que o meio sem fio entre o MSR e a estação móvel é muito frágil, por esta razão entende-se que aplicações usando o I-TCP devem fornecer algum mecanismo para recuperação de erro para lidar com falhas no meio sem fio.

3.3.5. PROPOSTA LAST HOP

Nesta proposta é apresentada uma nova estratégia para melhorar a performance de sessões do TCP que são originadas por ruídos em redes sem fio para computadores móveis. Esta estratégia permite aos fontes do TCP distinguir entre perda devido ao congestionamento ou perdas devido a corrupção. Com esta distinção, os fontes podem reduzir a taxa de envio quando ocorre congestão, e rapidamente retransmitir quando ocorre corrupção, como também este mecanismo é apropriado para lidar com perdas devido a *handoffs* de um computador móvel de uma célula no meio sem fio para outra.

3.3.5.1. MODELO DA REDE

O modelo de redes assumido, consiste de múltiplas redes unidas por computadores ligados a mais do que uma rede, também conhecidos como roteadores. Para distribuir uma mensagem de um computador em uma rede para um computador em uma outra rede, a mensagem é remetida de um roteador intermediário para um outro até o final da rede ser alcançado.

Como mostrado na figura 3.12, a rede contém um grupo de redes ligadas por fios, tais como *Ethernet* ou *Token Ring* que formam o centro da rede. Essas redes são assumidas serem livres de corrupção. Assim é razoável supor que se uma mensagem é perdida nessas redes, isto é devido a congestão. Assume-se que o meio sem fio menos confiável é inferior ao meio com fio, e mensagens são remetidas de e para os computadores móveis. Qualquer par de computadores em uma inter-redes pode estabelecer uma sessão TCP entre eles, mesmo que eles são móveis (*wireless*) ou estacionários (*wired*).

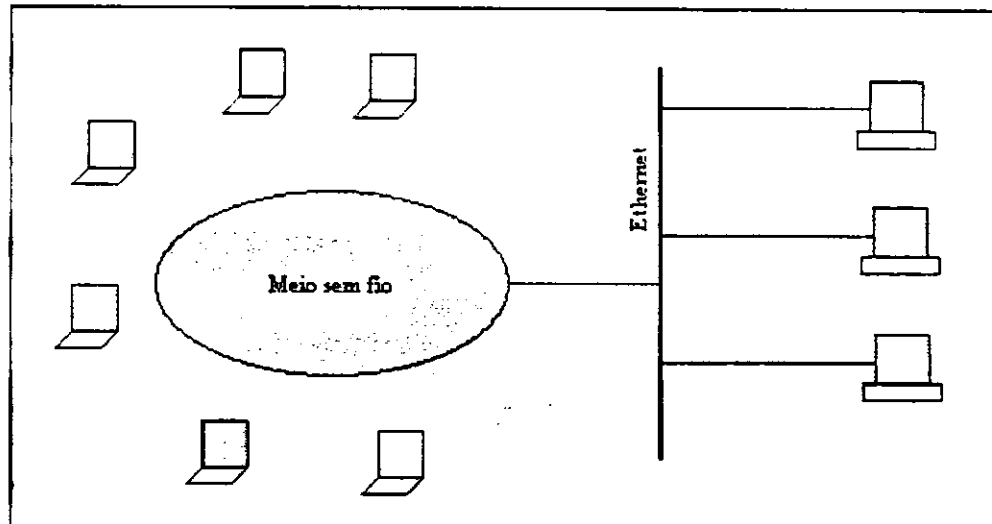


Figura 3.12. Modelo de inter-redes.

A região geográfica coberta por uma única rede sem fio é chamada de célula. Múltiplos computadores móveis podem estar operando em uma única célula, pelo compartilhamento do meio com técnicas de multiplexação tais como CSMA. As estações móveis são livres para mover de uma célula para outra. Depois de uma estação móvel mover de uma célula diferente, esta deve notificar ao *host* correspondente de sua nova localização, e informar ao roteador de células anteriores para remeter mensagens endereçadas para a nova célula.

3.3.5.2. ARQUITETURA LAST HOP

Um meio de eliminar perda por corrupção é para a estação móvel estabelecer uma conexão com o roteador adjacente na rede sem fio. O roteador então poderia assegurar que todas as mensagens que são enviadas para a estação móvel são eventualmente recebidas. Entretanto, isto requer que o roteador mantenha uma tabela de conexão e seu atraso associado, tal como guardar mensagens, mantendo tempos e retransmitindo mensagens não reconhecidas. Além disso, quando a estação move para uma nova célula, existe um atraso adicional para desfazer a conexão com o roteador anterior e estabelecer uma nova conexão com o novo roteador. Finalmente, a célula do meio sem fio pode ter mais do que um roteador e mensagens para a mesma sessão TCP pode chegar de diferentes roteadores, requerendo que a estação móvel estabeleça uma conexão com cada um desses roteadores.

Por outro lado existe um esquema que aumenta a vazão do TCP sobre redes sem fio sem forçar um atraso significativo em roteadores sem fio. Vamos considerar o caso quando uma estação estacionária é a fonte e a estação móvel o destino. Para determinar que uma mensagem atravesse a rede com fio e chegue até o roteador no meio sem fio, é sugerido que este roteador retorne um último salto de reconhecimento *lhack* para o fonte para todas as mensagens recebidas. O *lhack* indica para o fonte que se este não recebeu um reconhecimento do destino *dack* para esta mensagem, a mensagem deve ter sido perdida devido a corrupção. Isto é pelo fato da mensagem ter chegado pelo salto final do caminho para o destino, assim sua

perda ocorreu na rede sem fio. Portanto, não houve congestão, e a fonte não deve reduzir o tamanho da janela. Entretanto, se nem um *dack* nem *lhack* é recebido para uma mensagem, então a mensagem foi provavelmente perdida devido a congestão no nó intermediário. Deste modo, o fonte deve reduzir o tamanho da janela.

Notar que *dacks* também podem ser corrompidos pelo meio sem fio. Assim o roteador não deve realizar retransmissões, *dacks* não são garantidos para alcançar a fonte. Entretanto, *dacks* são cumulativos, a perda de um sinal ou plano de uns poucos *dacks* consecutivos afetam a fonte somente ligeiramente, assim o próximo *dack* recebido permitirá que novas mensagens de dados sejam enviadas.

Agora vamos considerar que uma estação móvel envie dados para uma estação estacionária. Uma mensagem de dados enviada pela estação móvel pode ser corrompida pela rede sem fio. Assim, o roteador enviará um primeiro salto (*first-hop*) de reconhecimento *fhack* para a estação móvel. Se a estação móvel não recebe um *fhack* para a mensagem, esta é retransmitida. Deste modo, eventualmente a mensagem de dado é recebida pelo roteador e enviada através da inter-rede.

O caso final é de uma estação móvel para estação móvel. Neste caso a fonte recebe ambos *fhack* e *lhack* para cada mensagem de dado. Notar que isto é possível que uma mensagem de dados é corrompida na rede destino, e o *lhack* para esta mensagem é corrompida na rede fonte. Assim um *fhack* é recebido, mas não um *lhack*, a fonte incorretamente assume que ocorreu congestão e diminui o tamanho da janela.

É argumentado no entanto que isto é diferente, se é assumido que a probabilidade de uma perda na rede fonte e destino, são independentes, a probabilidade que ambas, a mensagem e seu *lhack* são perdidas é pequena, mas ao contrário é menor do que a probabilidade de uma corrupção na rede com fio. No entanto a vazão não será afetada significativamente. Também as duas estações móveis podem escolher um computador estacionário tal como um desktop de um dos usuários, como um sistema intermediário para que ambas as estações móveis estabeleçam uma conexão. Isto reduz o problema para os dois casos acima.

Enviar um *lhack* para cada mensagem de dado tem o efeito de duplicar a quantidade de tráfego do destino para o fonte, assim dois tipos de reconhecimentos são enviados por mensagem. Entretanto, reconhecimentos são menores (40 bytes) relativos a mensagens de dados (500 bytes), portanto este aumento é modesto. No entanto isto pode ser reduzido por exemplo pelo fato do destino retornar um reconhecimento para todas três mensagens de dados. Assim *dacks* são cumulativos isto é pouco, se qualquer efeito sobre a vazão e o atraso no tráfego de reconhecimento é reduzido para um terço.

Agora é descrito como incorporar o esquema de reconhecimento em controle de congestionamento em conexões TCP's. Se nenhum *lhack* é recebido, pode ser pelo fato do destino ser estacionário ou a mensagem foi perdida devido a congestionamento, o fonte como no padrão do protocolo TCP. Se *lhacks* são recebidos, o fonte manterá a corrente vazão quando mensagens retransmitidas são perdidas devido a corrupção.

O fonte mantém um *array* de bits indicando para cada mensagem enviada, se um *lhack* tem sido recebido. Sobre um *timeout*, o fonte checa se um *lhack* foi recebido para a mensagem de *timeout*. Se isto não ocorreu, o congestionamento é assumido assim os passos padrão do TCP são tomados. Por outro lado a taxa de envio, isto é, o tamanho da janela não será reduzido. Portanto o TCP mantém um único *timer*, então depois de um *timeout* a rede não mais

tem qualquer mensagem do fonte. Assim, o relógio (*clock*) proprietário de envio de uma mensagem para cada reconhecimento recebido é perdido, assim o algoritmo de *slow-start* deve ser realizado e a janela deve ser posta em 1. Entretanto, o *slow-start* é setado para o tamanho da janela prioridade para o timeout, permitindo a janela crescer exponencialmente para o tamanho prioritário ao do *timeout*.

Uma decisão similar é feita para o caso do *fast-retransmit*. Se um *lhack* não foi recebido para a mensagem, o congestionamento é assumido, e os passos do TCP padrão são tomados. Caso contrário, o tamanho da janela é inalterado, pelo fato da perda ser por corrupção e a taxa de envio não ser necessariamente decrementada. Também uma técnica similar para o TCP é usada para estender a janela, exceto que o número de *lhacks* recebido é usado do que o número de *dacks* duplicados.

A tabela 3.3 mostra uma comparação entre os cinco protocolos analisados.

Crítérios	Fast Re-transmission	Extensão da fase Slow-start	Snoop / Routing Protocol	I-TCP	Last Hop
Informação do IP para o TCP	Sim	Sim	Não	Não	Não
Esconde o Handoff da estação fixa	Não	Não	Sim	Sim	Não
Indireção e seus benefícios	Não	Não	Não	Sim	Não

Tabela 3.3. Comparação dos cinco protocolos analisados.

CAPÍTULO 4

OPERAÇÃO NOS MODOS PARCIALMENTE CONECTADO, DESCONECTADO E FLUXO DE TRABALHO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são analisadas três propostas que dizem respeito a operação no modo parcialmente conectado, no modo totalmente desconectado e o fluxo de trabalho. Esses dois trabalhos têm nos inspirado no nosso trabalho que tratará do modo parcialmente conectado a nível de transporte TCP.

4.2. OPERAÇÃO NO MODO PARCIALMENTE CONECTADO

Nesta seção é feita uma análise da proposta de operação no modo parcialmente conectado elaborada por [Dwy97] com o objetivo de dar suporte a este tipo de operação a nível de sistema de arquivos. Com o advento dos computadores portáteis que permitem o acesso a redes remotas através do meio sem fio, ou seja, não importando a locação dos usuários móveis nem sua mobilidade, resultam em parcial ou intermitente conectividade com as redes fixas. Assim é esperado que conectividade parcial ou intermitente da ordem de Kbps para Mbps seja o modo mais comum em redes, onde existe uma necessidade crítica para mecanismos de acesso eficientes para dados sobre uma variável qualidade de serviços em redes.

Computadores portáteis (*palmtops*) tem uma série de limitações como por exemplo sua capacidade de memória comparado aos computadores fixos de mesa (*desktops*). Por esta razão, um sistema de arquivos de rede é um componente importante em qualquer meio de computação móvel. Fazer cópia de arquivos de uma forma tradicional entre um computador portátil e um servidor, passa por inconsistências e ineficiência quando importantes arquivos são perdidos durante desconexões. Também, computadores portáteis permanecem uma grande quantidade de tempo na estrada e arquivos podem ser perdidos devido a enguiço ou roubo. Ter acesso a arquivos remotos enquanto em uma estrada, é uma grande conveniência para usuários móveis se isto for feito de uma maneira eficiente.

O estado da arte dos sistemas de arquivos móveis, tipicamente assume dois modos extremos de operação, ou seja, totalmente conectado a uma rede com fios que utiliza grande banda passante (quando um computador portátil entra na área coberta por um ponto de acesso), ou simplesmente desconectado. Quando no modo totalmente conectado, o sistema de arquivos acumula (*hoards*) ou previsivelmente armazena (*caches*) arquivos que o usuário precisa durante a operação no modo desconectado. Quando desconectado, o sistema de arquivos lê e escreve de acordo com o arquivo armazenado (*hoarded*). Portanto surgem dois problemas: 1) um arquivo crítico pode não ter sido armazenado e pode impedir o trabalho do usuário no modo desconectado, e 2) arquivos podem estar inconsistentes em sua cópia armazenada (*hoarded*) devido a concorrência em escritas, comparado com a cópia do sistema de arquivos da rede fixa (*backbone*) quando ocorre a reconexão. Nenhum desses problemas pode ser previsto ou satisfatoriamente resolvido pelo fato da comunicação ser excluída quando desconectado.

Dado que comunicações de longa distância sem fio estão se tornando possível em quase todos os lugares, a imposição de desconexão como um modo comum não ligado será artificial. Enquanto várias pesquisas recentes têm reconhecido os possíveis benefícios do modo de operação parcialmente conectado. No entanto, não existe ainda um sistema de arquivos que forneça uma adaptação para a aplicação atuar diretamente como suporte para o modo de operação parcialmente conectado. Assim esta proposta denominada de PFS (*Prayer File System*) é um sistema de arquivos com consciência de mobilidade (*mobility-aware file system*) que otimiza conectividade parcial e fornece uma adaptação para a aplicação atuar diretamente para a variação da qualidade de serviços (QoS) em redes. As vantagens de fornecer um suporte genérico para a adaptação em um sistema de arquivos são:

- ✓ Transparência para aplicações que não utilizam este mecanismo – assim o sistema de arquivos manuseia a adaptação em nome da aplicação, isto pode fornecer mecanismos para suporte a mobilidade que é transparente a aplicação.
- ✓ Transparência de mecanismos de consistência – em PFS, as aplicações fornecem a política de consistência para o sistema de arquivos. Os mecanismos usados para cumprir a política são completamente transparentes a aplicação.
- ✓ Reuso – o enfoque tradicional de escrever aplicações que utilizam o mecanismo de consciência de mobilidade pode ser dispendioso, assim cada aplicação tem sua própria rotina de adaptação especial (embora pode-se argumentar para formar bibliotecas de adaptação, mas essas também têm limitações). Para aplicações que primariamente operam em arquivos de dados, um sistema de arquivos com consciência de mobilidade com uma simples direção da aplicação, pode fornecer uma refinada forma de armazenar (*caching*) e um protocolo especial de consistência para cada aplicação.

Duas desvantagens surgem devido ao fato de fornecer suporte de adaptação dentro do sistema de arquivos que são: o aumento da complexidade e as limitações sobre os tipos possíveis de adaptações. No caso de usuários móveis, a performance do sistema de arquivos remoto é mais afetada pela velocidade pelo fato do dado poder ser enviado através do meio sem fio. Claramente, um sistema de arquivos pode conhecer de uma forma limitada dos arquivos que este armazena. Por esta razão, um sistema de arquivos não pode fornecer uma adaptação ótima para todos os tipos de aplicações. Neste caso, aplicações com conhecimento de mobilidade devem ser usadas.

4.2.1. MODELO DO PFS

Na figura 4.1, é ilustrado o exemplo de um modelo para o PFS. As entidades que se destacam são: o computador portátil (PFS *client*), o computador origem (PFS *server*) e o servidor de arquivos. Para este trabalho pode ser usado qualquer sistema de arquivos como é o caso do NFS (*Network File System*), ou qualquer outro sistema de arquivos distribuído. O computador origem monta os diretórios compartilhados do servidor de arquivos. O computador portátil por sua vez armazena (*cache*) os arquivos do computador origem. O objetivo do PFS é manter a consistência dos arquivos entre o computador origem e o computador portátil, independente do sistema de arquivos do backbone da rede. Este modelo é consideravelmente diferente de outros modelos de sistemas de arquivos modernos que utilizam o mecanismo de desconexão como é o caso do Coda ou o AFS, onde o cliente portátil interage diretamente com o servidor.

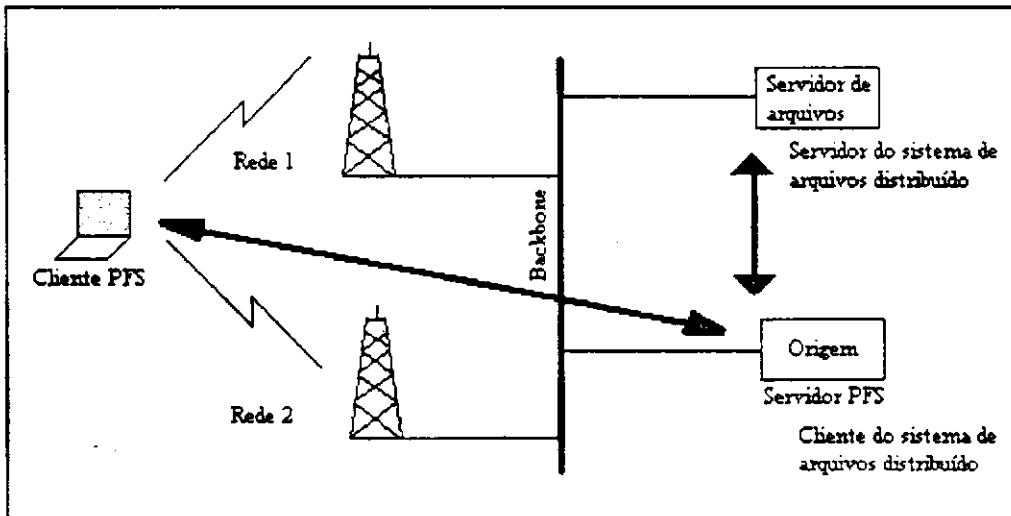


Figura 4.1. Modelo de rede para o PFS.

Existem três modelos de camadas com interações Cliente/Servidor entre o servidor e o computador origem, e entre o computador origem e o computador portátil. Isto significa que o PFS pode suportar qualquer número de diferentes sistemas de arquivos de backbones, mas também exclui o controle de consistência fim-a-fim. O nível extra de indireção habilita uma implementação de aplicação eficiente e dependente da qualidade de serviço (QoS) adaptativo a política de consistência e armazenagem, resultando em maior tempo potencial e diminuição de custo durante conexão parcial, enquanto incorrendo em um atraso tolerável durante a conexão total. Baseado neste modelo, PFS fornece os seguintes serviços para as aplicações:

- ✓ Suporte a largo alcance de conectividade – Acumulo em operação desconectada, e variável granularidade de armazenagem e consistência de operação de baixa largura de banda.

- ✓ Uso inteligente de largura de banda no meio sem fio – as porções necessárias ou modificadas de aplicativos de aplicações que são transparentemente transferidos através de redes sem fio.
- ✓ Suporte a aplicação direta de armazenagem e política de consistência – PFS fornece uma interface para aplicações imporem uma estrutura sobre seus arquivos e então requerer ao sistema de arquivos capturar partes do arquivo (registros ou certos campos de todos os registros) consistentes com o backbone do sistema de arquivos.

Um elemento chave de qualquer meio de computação móvel que suporta adaptação dinâmica na variação da qualidade de serviço de redes. Quando uma aplicação usando PFS é notificado de uma troca da QoS, esta pode decidir se modifica a corrente armazenagem e política de consistência.

4.2.2. ESBOÇO DO PFS

A figura 4.2 esboça um diagrama de blocos do PFS. O sistema inteiro tem sido desenhado para operar como uma aplicação, de tal forma como uma parte do núcleo do sistema. O cliente PFS escuta por requisições remotas de leituras e escritas de aplicações em bem conhecidos domínios de sockets do Unix e remete-os para o servidor PFS baseado no arquivo de consistência desejado pela aplicação, e a corrente conectividade do usuário móvel. Leituras e escritas são então armazenadas dentro do sistema de arquivo local do usuário móvel. Isto torna o PFS portátil a muitos sistemas operacionais Unix-like., e portátil com poucas modificações para o Windows 95 (fora do domínio dos sockets do Unix).

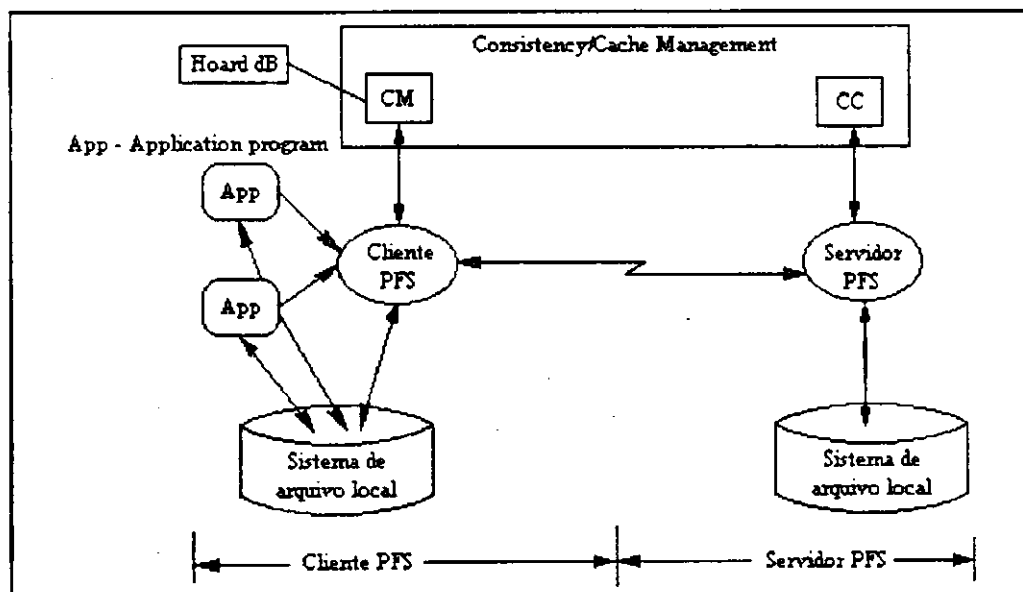


Figura 4.2. Diagrama de blocos do PFS.

4.3. OPERAÇÃO NO MODO DESCONECTADO

Neste item são apresentados dados qualitativos no acesso a arquivos em computações móveis. Esta informação é baseada no uso atual e experiência com o Sistema de Arquivos “Coda”. Esses experimentos confirmam a viabilidade e eficácia de operações de desconexão. Também expõe certas deficiências na corrente implementação do “Coda” e identifica novas funcionalidades que ressaltam a utilidade de computações móveis.

4.3.1. INTRODUÇÃO

Computadores portáteis são comuns nos dias de hoje. Em conjunção com alta e baixa banda da tecnologia de redes sem fio, tais computadores em breve fornecerão penetrante *Hardware* baseado em computações móveis. A chave requerida neste novo mundo da computação será a habilidade de acessar dados críticos sem olhar a locação. Dados de sistemas de arquivos compartilhados devem se tornar válidos para programas “rodando” em computadores móveis. Mas a mobilidade põe sérios impedimentos para encontrar este requerimento.

Este trabalho é iniciado, descrevendo como o acesso a arquivos compartilhados é complicado pelas limitações de computadores móveis. Então é exibido como o *design* do sistema de arquivos “Coda” endereça essas limitações. É apresentado dados qualitativos que seleciona o *design* do “Coda”. Baseado nessas experiências, é identificado um número de caminhos em que o “Coda” será melhorado. Este tópico conclui com uma descrição do corrente trabalho ao longo dos outros itens.

4.3.2 LIMITAÇÕES DE COMPUTAÇÕES MÓVEIS

Acesso a dados compartilhados em computações móveis é complicado por três limitações fundamentais. Essas limitações são intrínsecas à mobilidade e não são artefatos da corrente tecnologia:

- ✓ *Elementos móveis são recursos pobres, comparados a elementos estáticos.* Para um dado custo e nível de tecnologia, elementos móveis são lentos e tem menos memória e espaço em disco do que elementos estáticos. Limitações de peso, potência e tamanho sempre serão empecilhos que deverão ser pesquisados para se encontrar uma melhor solução.
- ✓ *Elementos móveis são mais predispostos a perda, destruição e subversão do que elementos estáticos.* “Um corretor de valores da *Wall Street* pode por exemplo ter problemas na rua de *Manhattan* e ter o seu *laptop* roubado do que ter uma *workstation* em um escritório fechado e ser fisicamente arruinado”.
- ✓ *Elementos móveis devem operar em condições de redes mais robustas.* Uma *workstation* em uma escrivaninha pode contar com uma conectividade de LAN ou WAN. Um *laptop* em um quarto de hotel pode somente ter uma conectividade de *modem* ou ISDN. Fora do escritório, um *laptop* com um *modem* celular pode encontrar um contato intermitente com a célula mais próxima.

Essas limitações violam muitas das suposições sobre as quais um sistema distribuído é baseado nos dias de hoje. Além disso, a ubiquidade de computadores portáteis resultará em sistemas de computação móvel que são maiores do que sistemas distribuídos de hoje.

Idealmente, mobilidade será completamente transparente aos usuários. Transparência alivia os usuários da necessidade de estar constantemente informados de detalhes do seu meio de computação, assim permitindo-lhes focar sobre sua real tarefa. Evidentemente, transparência é um ideal inatingível. Mas o que não desanimará de se explorar técnicas que habilitam a vir a ter possibilidades do ideal.

4.3.3. VISÃO DO SISTEMA DE ARQUIVOS “CODA”

“Coda”, um sistema de arquivos descendente do *Andrew* (conforme descrito em capítulo anterior) oferece acesso continuado para dados em face do servidor e falhas da rede. Em Alguns artigos estão descritos vários aspectos do “Coda” em profundidade. Neste tópico é fornecido detalhes o bastante para se tornar compreensivo no resto do texto.

“Coda” é designado para um meio consistindo de uma grande coleção de clientes *Unix-Like* e um número muito menor de verdadeiros sistemas de arquivos do *Unix*. Isto é especificamente não intencional para aplicações tais como processamento de aplicações de transações *online* que exibem alta concorrência, “fina granularidade de padrões atualizados”.

Cada cliente do “Coda” tem um disco local e pode comunicar-se com os servidores sobre alta largura de banda da rede. Clientes vêem o “Coda” como uma única locação transparente do sistema de arquivos compartilhado do *Unix*. O espaço de nome do “Coda” é mapeado para arquivo individual dos servidores na granularidade de subárvores chamadas volumes. Em cada cliente, um gerenciador de cache (*venus*) dinamicamente obtêm e armazena dados tão bem quanto volumes mapeados.

O “Coda” usa dois mecanismos distintos mas complementares para ser eficaz. Ambos os mecanismos contam com uma estratégia otimista de controle de replica. Este oferece o mais alto grau de eficácia, desde dados podem ser atualizados em qualquer partição da rede. O sistema garante detecção e confinamento em conflitos de atualizações depois de sua ocorrência e providencia mecanismos de socorro para usuários se recuperarem de tais conflitos.

4.3.3.1. SERVIDOR DE REPLICAÇÃO

O primeiro mecanismo de alta-eficácia (Servidor de Replicação), permite aos volumes terem replicas de leitura e gravação em mais do que um servidor. O conjunto de sites de replicação para um volume é o VSG (*Volume Storage Group*). O subconjunto de um VSG que é acessível correntemente é um cliente que tem acesso ao VSG, ou seja, *Accessible VSG* (AVSG). O custo de performance do servidor de replicação é administrado em clientes e através do uso de protocolos de acesso paralelo. Modificações em um cliente “Coda” são propagadas em paralelo a todos os *sites* AVSG e eventualmente para perda de *sites* VSG.

4.3.3.2. OPERAÇÃO DE DESCONEXÃO

Embora replicação do servidor seja uma importante parte do “Coda”, isto é o segundo mecanismo eficaz de operação de desconexão que é a tecnologia chave para computação móvel. Um cliente torna-se desconectado com respeito a um volume quando um servidor não está acessível no seu VSG (*Volume Storage Group*). Uma desconexão involuntária pode ocorrer em uma computação móvel quando há um impedimento temporário para a comunicação, isto pode ser causado pelas limitações tais como inabilidade para operar de uma forma clandestina. Uma desconexão voluntária pode ocorrer quando um usuário deliberadamente opera isolado de uma rede. Isto pode acontecer pelo fato da rede não está disponível na locação do computador móvel [Mul95].

Logicamente, Venus opera em um dos três estágios: acúmulo (*hoarding*), emulação (*emulation*) e reintegração (*reintegration*). A figura 4.3 exhibe estes estados e suas respectivas transições. Deste modo todos os volumes podem não ser replicados através do mesmo conjunto de servidores, Venus pode está em um dos diferentes estados com respeito aos diferentes volumes, dependendo das condições das falhas do sistema.

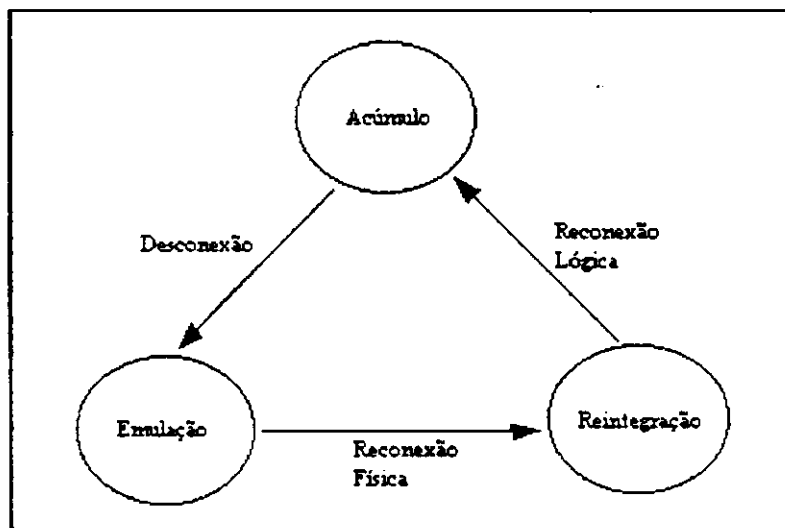


Figura 4.3. Estados e transições do Venus.

a) Acúmulo (*Hoarding*)

O estado de acúmulo é assim denominado pelo fato da responsabilidade chave do *Venus* no estado para acumular dados em antecipação a desconexão. O *Venus* combina fontes de informações de uma forma implícita e explícita como uma prioridade básica de um algoritmo de gerenciamento de cache que balanceia as necessidades de operação conectado e desconectado.

b) Emulação (*Emulation*)

No estado de emulação, o *Venus* realiza várias ações normalmente de responsabilidade dos servidores. Por exemplo, o *Venus* assume total responsabilidade para acesso e checagem da semântica. Também tem a responsabilidade de gerar arquivos de identificadores temporários para novos objetos, tarefas pendentes de arquivos permanentes de identificadores temporários

na reintegração. Muito embora *Venus* tem uma função como um pseudo servidor. O gerenciamento de cache durante a emulação é feito com o mesmo algoritmo de prioridade usado durante o estado de acúmulo.

c) Reintegração (*Reintegration*)

A reintegração é um estado transitório, através do qual o *Venus* passa em regras de permuta do pseudo servidor para o gerenciador de cache. Neste estado o *Venus* propaga permutas feitas durante a emulação, e atualiza seu cache para refletir o estado do servidor corrente. A reintegração é realizada num volume em um tempo, com todas as atualizações ativas no volume suspenso até ser completado.

4.3.4. AVALIAÇÃO QUALITATIVA

A natureza do nosso meio de teste tem significado que nós temos mais experiência com operações de desconexões voluntárias. O cenário mais comum de desconexão tem sido um usuário levar o seu *laptop* e retomando em casa o trabalho à noite ou no final de semana. Existem casos em que os usuários tem pegado o seu *laptop* fora da cidade, em viagens de negócio e em férias e operado desconectado por uma semana ou mais.

“Embora a dependência do nosso computador de mesa sobre AFS tem limitado nossa experiência com desconexões involuntárias, significa que isso não é eliminado”. Particularmente durante os primeiros estágios de desenvolvimento, os servidores Coda eram bastante frágeis e sujeitos a justeza de freqüentes quedas. Quando a queda envolvia corrupção do servidor metadata (uma ocorrência comum) reparando o problema podia tomar horas ou vários dias. Portanto, havia muitas oportunidades para clientes involuntariamente operar desconectado do usuário e projeto de dados.

4.4. FLUXO DE TRABALHO (WORKFLOW)

O gerenciamento de sistemas de fluxo de trabalho (WFMS – *Workflow Management Systems*) formam a primeira geração de produtos que tenta gerenciar a execução de processos de negócios por um grande número de usuários em uma grande área distribuída, usando recursos heterogêneos. Estes são uma grande promessa local para sistemas que colaboram entre si, mas em muitos casos, a autonomia de usuários é grandemente restrita devido a consideração da arquitetura e *design*. Isto é uma restrição severa, especialmente considerando a emergente computação móvel e o aumento em uso de *laptops* e pequenos computadores que são conectados a uma rede de computadores somente ocasionalmente. Neste item é discutido como clientes operando no modo desconectado do fluxo de trabalho podem ser suportados enquanto preservando a execução correta e permitindo as interações entre diferentes usuários [Alo95].

4.4.1. PROCESSOS DE NEGÓCIOS

A coordenação de um processo de negócios de diferentes passos requeridos para ser obtido para um objetivo particular são os elementos chaves, cujos passos são executados e como eles são coordenados de uma forma significativa como um todo. Considere como um exemplo a

aprovação de um empréstimo bancário. O primeiro passo envolve obter informação da pessoa cujo empréstimo está sendo feito. Deste modo só depois do primeiro passo ser executado, um relatório de crédito é obtido, isso depois de consultar um cadastro bancário ou uma agência externa. Esta informação é então usada para fazer um estudo de caso, comparando com outros casos, usando informação sobre a pasta de empréstimo do mesmo cliente e analisando as condições do mercado. Uma vez a recomendação estando pronta, uma decisão deve ser tomada. Se o empréstimo for rejeitado, uma carta é enviada para o cliente. De outra forma, os documentos apropriados são preparados, o cliente assina e finalmente o empréstimo é obtido. Este processo de negócio é exibido conforme a figura 4.4.

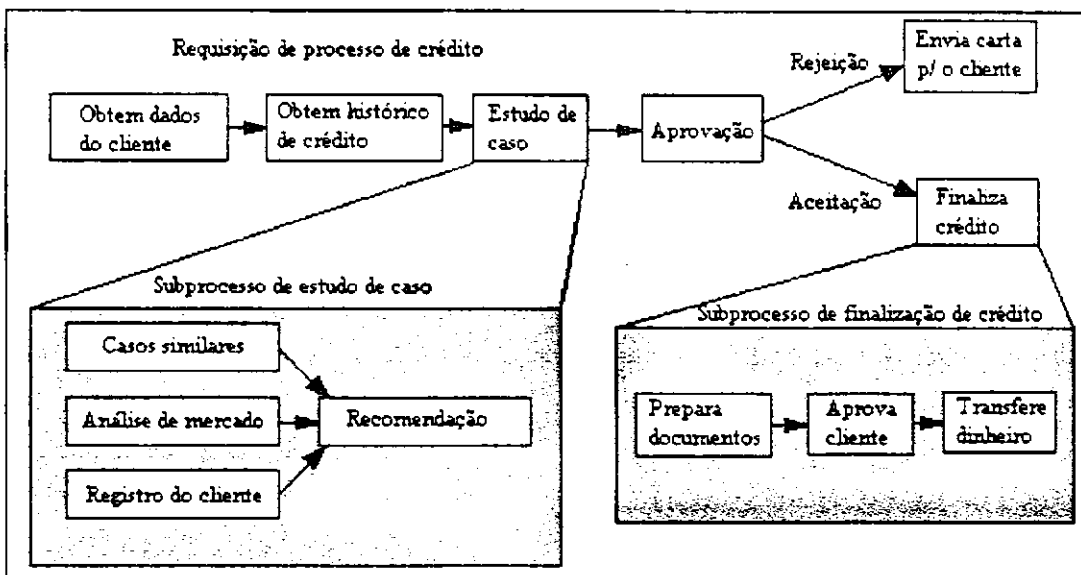


Figura 4.4. Uma requisição de empréstimo como um exemplo de negócio.

4.4.2. MODELO DO WORKFLOW

Processos de negócios são modelados em fluxos de sinais (*FlowMark*) como gráficos diretos acíclicos em que nodos representam os passos de execução e linhas representam o fluxo de controle e dados entre os diferentes passos. Os principais componentes do *FlowMark* são: processos, atividades, conectores de controle, conectores de dados e condições. Um processo é uma descrição da seqüência de passos envolvidos. Atividades são os nodos no gráfico do processo e representam os passos a serem completados. Conectores de controle são usados para especificar a ordem de execução entre atividades e representados como sinais diretos no gráfico do processo. Conectores de dados especificam o fluxo de informação de uma atividade para outra. Finalmente, condições especificam quando certos eventos ocorrerão.

4.4.3. ARQUITETURA DO WORKFLOW

A corrente versão do *FlowMark* é centrada na base de dados orientada a objetos, denominada de *ObjectStore*. O *FlowMark* roda nas diferentes plataformas, ou seja, AIX, OS/2, Windows e

seus componentes podem ser distribuídos em sistemas heterogêneos. A base de dados centralizada é usada para armazenar todas as informações sobre o esquema. Todos os outros componentes trabalham de envio de mensagens reportando a ocorrência de um evento e obtêm mensagens instruindo sobre o que fazer depois. As comunicações não são diretamente com a base de dados, mas conduzidas através de um servidor, denominado de FlowMark Server. Os outros componentes do *FlowMark* são: *Runtime Client*, *Program Execution Client*, e *Buildtime Client*. Cada um desses clientes podem residir em um *host* diferente.

4.4.4. SUPORTE A CLIENTES DESCONECTADOS

Neste item será discutido os requerimentos do sistema para suportar clientes desconectados em termos de trocar os componentes atuais, bem como a prioridade de sincronização para desconexão e a operação de desconexão.

4.4.4.1. REQUERIMENTOS DO SISTEMA

Como ilustrado em descrições prévias, a troca de mensagens que ocorre quando uma atividade está sendo executada, o *FlowMark* opera de uma forma a manter todas as informações em uma base de dados centralizada. Todos os outros componentes, clientes e servidores do fluxo de trabalho não têm memória persistente e não têm informação de uma maneira concisa dos processos atuais em execução.

Para clientes trabalharem no modo desconectado, eles devem ter mais autonomia e a sua própria forma de armazenar informação. Eles devem também ter acesso à informação necessária para ser capaz de proceder sem consultar a base de dados central. O fato de que clientes são mais autônomos implica que o servidor deve assegurar que não existe conflito entre os diferentes clientes desconectados por não permitir dois usuários trabalharem simultaneamente nas mesmas atividades. Deste modo é assumido que os clientes notificam suas intenções para trabalhar no modo desconectado para permitir ao servidor tomar os passos necessários para evitar execução incorreta ou resultados conflitantes.

Durante o modo de operação desconectado, ambos o cliente *runtime* e o programa em execução cliente são necessários ou pelo menos, a sua funcionalidade. O usuário ainda interage com o sistema através da *worklist*, gerenciada pelo cliente *runtime*, enquanto a atual execução das aplicações estão ligadas pelo programa do cliente em execução. Durante a desconexão, ambos os clientes residem na mesma máquina, assim eles podem ser combinados em um único componente.

4.4.4.2. PRIORIDADE DE SINCRONIZAÇÃO PARA DESCONEXÃO

Esta fase preliminar envolve dois importantes passos: bloquear e carregar as atividades que serão válidas nos clientes, durante o modo de desconexão. Bloquear é necessário devido ao fato que atividades podem aparecer em várias *worklists* simultaneamente. Sobre circunstâncias normais, a base de dados centralizada, serializa todas as trocas para uma atividade e portanto se dois usuários iniciam a mesma atividade concorrentemente, somente um deles será capaz de se registrar na base de dados como o usuário para que a atividade tenha sido assegura-

rada. No entanto todas as outras requisições que chegam mais tarde, serão rejeitadas. No modo desconectado, o sistema deve assegurar que os clientes desconectados não trabalharão simultaneamente na mesma atividade. Desta forma, para operação desconectada, usuários devem declarar sua intenção em trabalhar em uma atividade particular.

Quando um usuário bloqueia uma atividade, uma mensagem de atividade bloqueada é enviada para ambos o servidor e o programa do cliente em execução. Deste modo o programa do cliente em execução conhece a diferença entre uma atividade bloqueada e outros tipos de atividades. Quando uma mensagem de atividade bloqueada chega, o servidor comporta-se como se isto foi uma mensagem de início de atividade, então envia uma mensagem de início de programa para o correspondente programa do cliente em execução.

4.4.4.3. OPERAÇÃO DE DESCONEXÃO

Durante a operação de desconexão, um usuário pode iniciar somente atividades bloqueadas. Isto só pode ser feito, removendo da *worklist* todas as atividades que não estão bloqueadas no momento da desconexão. Sobre iniciar uma atividade bloqueada, o cliente *runtime* envia uma mensagem para iniciar uma atividade bloqueada para o programa do cliente em execução. Sobre receber esta mensagem, o programa do cliente em execução recupera o dado do próprio repositório e procede de uma forma usual quando executando uma aplicação.

Quando a execução de uma aplicação termina, os valores que este retorna são capturados pelo programa do cliente em execução. Sobre circunstâncias normais, o programa do cliente em execução enviará estes dados para o servidor imediatamente. Durante o modo de operação desconectado, entretanto isto não é possível e portanto deve armazenar os resultados até este se reconectar ao servidor. O programa do cliente em execução pode armazenar as mensagens que serão enviadas para o servidor de uma maneira seqüencial.

CAPÍTULO 5

GERENCIAMENTO DE DESCONEXÕES

5.1. INTRODUÇÃO

Após o estudo árduo e perspicaz a respeito das comunicações móveis, detectamos vários problemas e desafios que devem ser enfrentados pelos pesquisadores nas diversas áreas de atuação, seja de hardware, software, ou mesmo a nível químico para suprir as necessidades de mobilidade quanto a potência, recarga e vida útil das baterias dos chamados *palmtops* ou *hand helds* que constituem a grande massa de equipamentos que se utilizarão das redes móveis. Durante todo o desenvolvimento deste trabalho, os vários problemas, bem como as várias propostas para soluções de alguns desses problemas foram analisadas e chegamos a conclusão que deveríamos nos ater a apenas um desses problemas e propor nossa solução sem o propósito de “reinventar a roda”.

Por esta razão, decidimos trabalhar a nível de transporte e sugerir alterações na proposta de indireção inicialmente feita por [Bak94] denominada de I-TCP e com nossas alterações essa proposta passa a suportar o problema das desconexões planejadas. Segundo [Sad97], acredita-se que um grande contingente de usuários móveis com seus *laptops*, representando cerca de 70% do total, trabalharão no modo parcialmente conectado, onde esses usuários estabelecerão suas conexões para acessar serviços dedicados em LANs remotas e recuperar a informação para trabalhar localmente sem necessariamente manter sua conexão ativa. Este modo de operação é também justificado pela escassez de recursos nos computadores móveis e também pelo alto custo de tais recursos para esta classe emergente de usuários. As desconexões que são comuns nos ambientes móveis podem ser classificadas de dois tipos, as desconexões planejadas (objeto de nosso estudo) e as desconexões não planejadas.

As desconexões planejadas são entendidas como um estado intermediário entre conectado e totalmente desconectado (como conhecido hoje) que podemos chamar de parcialmente conectado, onde precisa de consideração especial. Para que a desconexão planejada ocorra, uma estação móvel (MH) pode conscientemente decidir ficar no modo “cochilo” (*doze off*) para economizar energia e realizar alguma tarefa local sem necessariamente quebrar a conexão corrente de uma rede ou afetar seus parâmetros de controle de fluxo ou descontinuar esta aplicação.

Para as desconexões não planejadas que podem ocorrer devido a diversos fatores como a mudança da estação móvel de uma célula para outra (*handoff*), ou a estação móvel pode perder contato com o MSR que atende a célula por causa de baixa qualidade da comunicação, ou ainda por a estação móvel sair da área de cobertura de todas as células que poderiam atender a ela. Assim desconexão é o resultado da natureza das comunicações móveis e por esta razão é prudente observar as soluções propostas para resolver esta característica.

A escolha do protocolo I-TCP é devido a diversos benefícios que constituem a indireção para as desconexões planejadas, como por exemplo: devido as características dos meios com fio e sem fio serem diferentes, principalmente quanto a velocidade. Por esta razão o controle de fluxo e o controle de congestionamento são tratados em cada meio. Uma outra razão é que o protocolo de transporte separado para o meio sem fio pode suportar notificação de eventos tais como: desconexões, mobilidade e outras características do meio sem fio. Indireção permite a estação base (MSR) gerenciar atrasos de comunicações para a estação móvel. Assim uma estação móvel (Ex.: um pequeno palmtop) que executa um protocolo simples do meio sem fio para se comunicar com o MSR pode ainda acessar serviços da rede fixa como WWW que pode de outra maneira requerer uma pilha completa do TCP/IP rodando na estação móvel.

Neste capítulo primeiramente é feita uma análise mais detalhada da implementação do protocolo I-TCP e posteriormente são indicadas as alterações necessárias neste protocolo para suportar desconexões planejadas.

5.2. COMPONENTES DO I-TCP NORMAL

Esta seção descreve a implementação dos vários componentes de software que constituem o protocolo I-TCP para uma implementação particular do mesmo. Essas modificações incluem os códigos do TCP normal e IP móvel que são executados nos MSRs. A figura 5.1 fornece uma ilustração desses componentes.

móvel que desejam valer-se do I-TCP em vez de usar o TCP regular, simplesmente precisam substituir os *sockets* das chamadas de sistema para o início e término da conexão pelas suas chamadas equivalentes do I-TCP.

5.2.3. PROCESSO (DAEMON) I-TCP

Este processo que é executado em todos os MSRs, é responsável por gerenciar todas as conexões I-TCP para todas as estações móveis que estão correntemente locados ao MSR. Gerenciar as conexões I-TCP no MSR de um processo no espaço do usuário, envolve atraso de cópia adicional sobre cada metade de uma conexão dupla. Os dados enviados por uma estação móvel em uma conexão I-TCP tem de ir através das camadas *sockets* e TCP no núcleo do Unix e no espaço do usuário e baixar novamente no lado fixo da conexão através das camadas *socket* e TCP do núcleo para a rotina de saída IP. De outra forma, um pacote TCP regular da estação móvel para uma conexão direta será remetido pela camada de rede IP no núcleo para a rede fixa com o atraso de processamento nominal.

O processo (*daemon*) I-TCP “é um processo em linha” (*threaded*) com diferentes módulos para comunicar com as estações móveis locais, com o processo MSRMICP no MSR e com o processo (*daemon*) I-TCP de outros MSRs. Na forma corrente, o processo (*daemon*) I-TCP realiza as seguintes funções:

- ✓ Manuseia requisições das estações móveis localmente registradas para abrir conexões I-TCP. Tais requisições podem ser tanto passivas (modo de escuta de conexões) ou ativas (iniciando uma conexão com uma estação remota).
- ✓ Copia dados do lado sem fio de conexões I-TCP para o lado fixo da rede e vice versa.
- ✓ Realiza *handoffs* I-TCP em coordenação com processos (*daemons*) em outros MSRs e o processo local MSRMICP.

As figuras 5.2 e 5.3 fornecem ilustrações das comunicações entre os vários processos que estão alocados nas estações móveis e MSRs respectivamente.

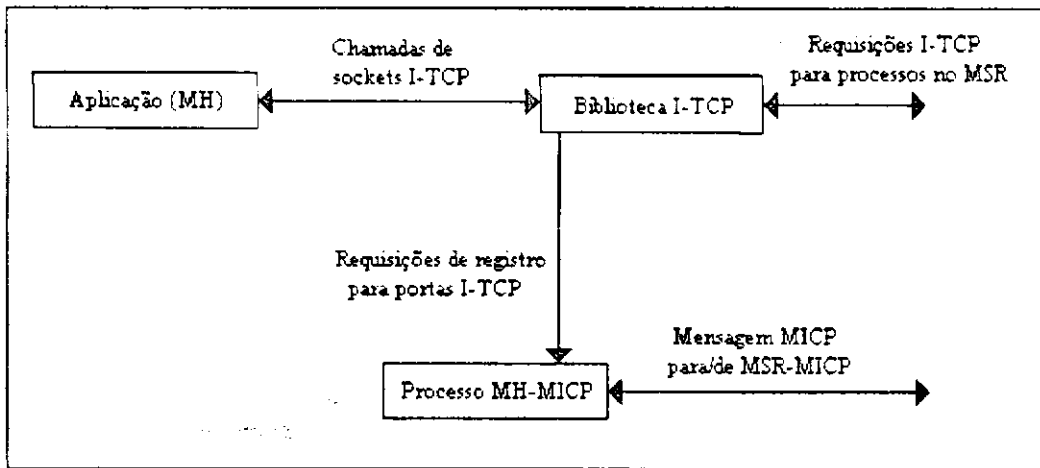


Figura 5.2. Módulos I-TCP da Estação móvel.

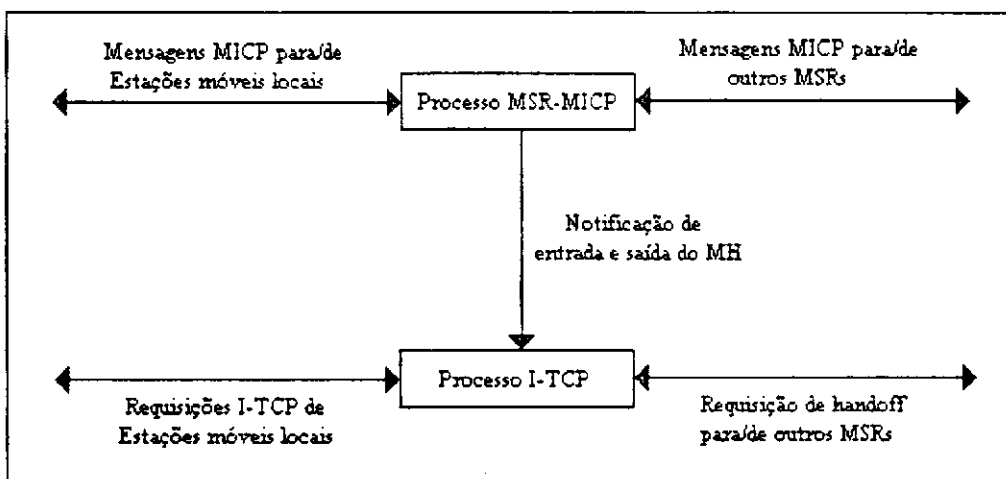


Figura 5.3. Módulos I-TCP dos MSRs.

5.2.4. GERENCIAMENTO DE HANDOFF

A figura 5.4 mostra a seqüência do processo de *handoff* para conexões I-TCP quando uma estação móvel que tem conexões I-TCP abertas, muda de uma célula (coberta pelo MSR-1) para uma outra célula (coberta pelo MSR-2). O procedimento de *handoff* é perfeitamente integrado com o procedimento de registro da estação móvel com o protocolo Columbia *Mobile IP* pela relativa eficiência e assim os módulos a nível de usuário, chamado processo MSR-MICP e o processo MH-MICP sendo executados no MSR e estação móvel respectivamente, também participam do processo de *handoff* do I-TCP. De acordo com a descrição em seguida dos números indicados na figura 5.4.

1. Uma mensagem de aviso (*beacon*) é recebida pela estação móvel do novo MSR-2.
2. O processo MH-MICP registra o novo MSR-2 para ser o roteador *default* e envia uma mensagem de acolhimento (*greeting*) para este MSR, contendo as indicações (*endpoints*) da conexão de todas as conexões I-TCP ativas na estação móvel e também o endereço do MSR anterior no caso MSR-1.

3. O processo MSR-MICP no MSR-2 envia uma mensagem de Ack em resposta a mensagem da estação móvel.
4. O processo MSR-MICP no MSR-2 envia uma mensagem MHIn para o processo (*daemon*) I-TCP local, contendo a lista de indicações (*endpoints*) da conexão I-TCP recebida da estação móvel.
5. O processo (*daemon*) I-TCP estabelece sockets para ambos, o meio sem fio e a parte fixa da rede das conexões I-TCP para a mais recente estação móvel registrada e prepara uma requisição de *handoff* I-TCP do MSR-1. O processo (*daemon*) I-TCP então envia um Ack para o processo local MSR-MICP.
6. O processo MSR-MICP envia uma mensagem (*forwarding pointer*) para o MSR-1.
7. O processo MSR-MICP no MSR-1 envia uma mensagem (*forwarding Ack*) para o MSR-2.
8. O processo MSR-MICP no MSR-1 envia uma mensagem MHOut para o processo (*daemon*) I-TCP local com o endereço da estação móvel que mudou-se.
9. Após receber a mensagem MHOut, o processo (*daemon*) I-TCP congela todas as conexões I-TCP para a estação móvel indicada. Então faz uma requisição de *handoff* para o processo (*daemon*) I-TCP do MSR-2 para saber se está pronto e então envia o estado de cada conexão I-TCP para o MSR-2.
10. O processo (*daemon*) I-TCP no MSR-2 recebe o estado de cada conexão I-TCP para a estação móvel mais recente registrada e reinicia (*restart*) cada conexão. Então envia um Ack para o MSR-1, sinalizando a conclusão do *handoff* I-TCP.

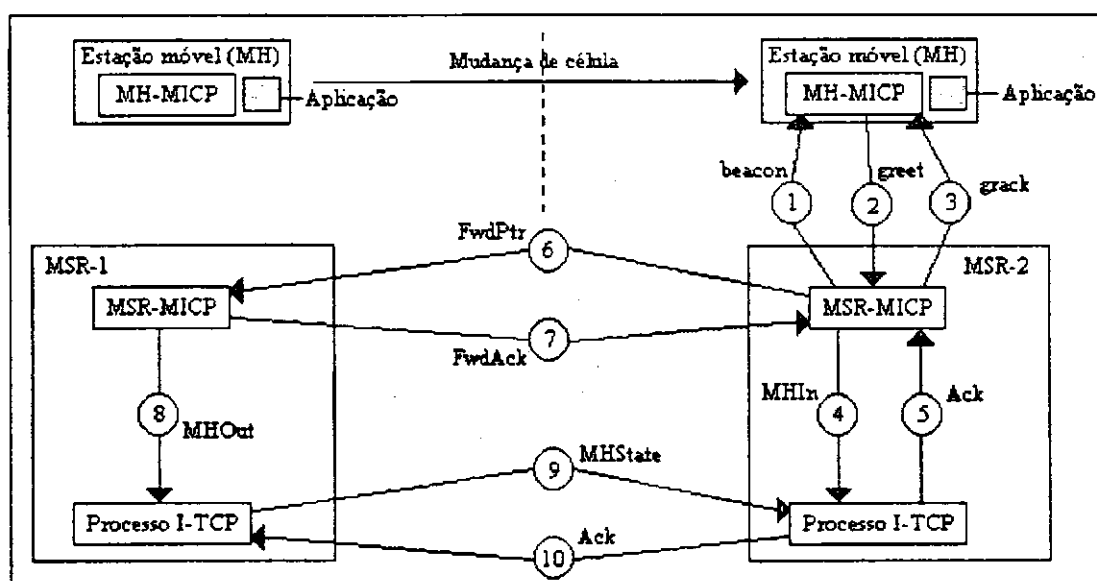


Figura 5.4. Sequência do handoff I-TCP.

O procedimento de *handoff* descrito, assume que as células do meio sem fio não tem cobertura coincidente (*non-overlapping*), ou seja, não há possibilidade de comunicação direta entre a estação móvel e o MSR anterior (MSR-1) depois da mudança entre células. No caso de células coincidentes (*overlapped cells*), a estação móvel pode continuar a receber pacotes IP durante os passos de 1 a 6 no processo de *handoff*, enquanto envia os pacotes IPs de saída através do novo MSR (MSR-2). O *handoff* I-TCP assim não interfere com outro tráfego IP para/e da estação móvel. Para as conexões I-TCP, existe uma breve interrupção no tráfego entre os passos de 6 a 10 durante o processo de *handoff*. Os segmentos TCP em trânsito durante este curto período são armazenados (bufferizados) sem ser processados no novo MSR e são reconhecidos à medida que o estado da informação seja completada e se torne válida para as conexões I-TCP no novo MSR.

Com células não coincidentes, a estação móvel pode iniciar o envio de pacotes IP de saída imediatamente após o passo 1, mas não pode receber qualquer pacote IP até o passo 6, pelo fato do resto da rede não conhecer a nova localização. Esta interrupção na camada de rede é inevitável com células não coincidentes. Para conexões I-TCP, o *handoff* I-TCP tem de ser completado no passo 10 antes do dado poder fluir em ambas as direções normalmente que causa uma breve espera no caso com células coincidentes.

5.3. PARTES RELEVANTES PARA ALTERAÇÃO DO I-TCP

As mudanças propostas para alteração do I-TCP tem a finalidade de suportar desconexões planejadas, que como informado anteriormente são desconexões realizadas voluntariamente pelas estações móveis com diversos objetivos, como exemplo economizar energia na recepção de pacotes e paralelamente executar outras tarefas localmente. Para se desconectar de uma forma planejada, a estação móvel precisa executar algumas tarefas e em seguida sinalizar o MSR que lhe atende no momento e executar suas tarefas locais. Após a conclusão das tarefas locais, a estação móvel deve novamente sinalizar o MSR de seu retorno e o estado da conexão não deve ter sido alterado.

Deste modo o processo de desconexão planejada deve ser iniciado em uma estação móvel, a qual deve realizar as seguintes primitivas:

1. Congela um *socket* conectado.
2. Armazena o estado da conexão.
3. Continua recebendo segmentos a ele enviado sem processá-los.
4. Envia uma mensagem denominada DESCPLAN para o MSR atual. Esta mensagem deve conter algumas informações para negociação de quanto tempo a estação deverá permanecer desconectada.

O MSR por sua vez, após receber a mensagem de desconexão planejada (DESCPLAN) deve executar as seguintes primitivas:

1. Para imediatamente de enviar pacotes para a estação móvel que está requisitando a desconexão.
2. Congela estado da conexão.

3. Continua recebendo pacotes endereçados a esta estação móvel e bufferiza-os.
4. Aplica um *back off* exponencial (temporizador) para reduzir o tráfego vindo da estação fixa.

A figura 5.5 ilustra este processo executado tanto na estação móvel como no MSR que está atendendo esta estação.

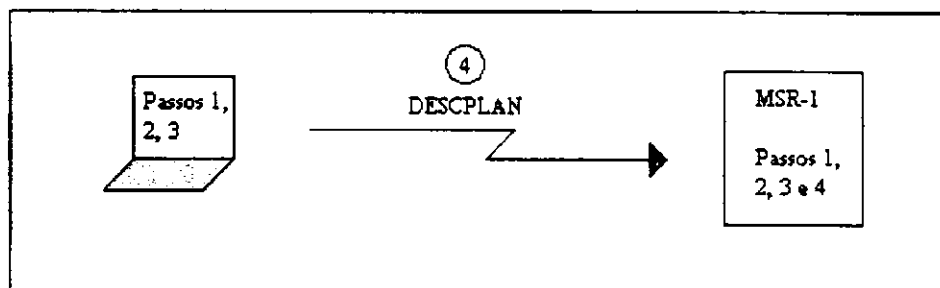


Figura 5.5. Desconexão planejada

Caso o envio da mensagem de pedido de desconexão (DESCPLAN) coincida com o cruzamento entre células e quem receba esta mensagem seja um outro MSR, como por exemplo o MSR-2, então este deve realizar os seguintes passos:

1. Após receber esta mensagem, o MSR-2 entende que uma estação móvel deseja se desconectar mas que não se cadastrou previamente com ele.
2. Como nesta mensagem inclui o endereço do MSR anterior (MSR-1), desta forma o MSR-2 através do processo MSRMICP remete (*forward*) a mensagem de desconexão para o processo MSRMICP em MSR-1.

Quando o processo MSRMICP em MSR-1 recebe esta mensagem, então passa a executar os quatro passos descritos anteriormente para atender o pedido de desconexão da estação móvel.

5.3.1. NEGOCIAÇÃO DE TEMPO DA ESTAÇÃO MÓVEL COM O MSR

Periodicamente a estação móvel e o MSR devem negociar o tempo de desconexão para que o MSR permaneça com a conexão aberta com esta estação móvel. Esse tempo deve ser simulado, onde pode-se sugerir um minuto de desconexão. Neste caso, alguns cenários podem ser analisados, como por exemplo pode ter havido migração ou não.

A estação móvel pode ter negociado um tempo muito longo, por esta razão o MSR deverá por as informações desta estação móvel em disco para não encher seu cache. O MSR e a parte fixa devem manter alguma forma de troca de informação para que a conexão permaneça ativa durante a vida da conexão. Pode ser analisado o cenário em que a parte fixa seja desligada

durante a vida da conexão, esteja esta no modo desconectado temporariamente ou não, neste caso a conexão é desfeita e os dados são perdidos, onde isso só deve acontecer esporadicamente por uma falha do *host* fixo, desta forma pode haver um log para tentativa de recuperação da informação.

Quanto ao problema de haver migração durante uma desconexão planejada, pode-se sugerir que haja um processo de *handoff* antes de dar continuidade a conexão propriamente dita.

Um outro cenário que pode ser analisado é quando o MSR perde o contato com a estação móvel para manter a conexão ativa, neste caso deve-se fazer tentativas e se não houver resposta, o mesmo considera que a estação móvel se desligou e o MSR esvazia seus *buffers* e fecha a conexão com o *host* fixo.

5.3.2. RECONEXÃO DA ESTAÇÃO MÓVEL

Após a execução das tarefas locais por parte da estação móvel, a mesma deseja se reconectar ao MSR para dar continuidade à conexão previamente estabelecida que foi interrompida. Para isso o estado da conexão deve ser restabelecido a partir do ponto onde parou e quem deve tomar a iniciativa é a estação móvel, enviando uma mensagem específica para o MSR. No entanto a estação móvel durante o período de desconexão pode ou não ter migrado para uma nova célula, por esta razão as alterações propostas para o protocolo I-TCP prevêm dois modos de atuação, dependendo se houve ou não a migração. Ainda pode-se ter o cenário, onde a estação móvel migrou para uma célula distante das células cobertas por uma única rede local.

Primeiramente é analisado o caso em que não houve migração. Deste modo, a estação móvel envia uma mensagem de reconexão chamada de RECPLAN, e quem atende é o mesmo MSR (MSR-1) que recebeu a mensagem anteriormente de desconexão. Assim o MSR-1 executa os seguintes passos descritos em seguida, conforme ilustração da figura 5.6.

1. Checa estado da conexão desta estação móvel.
2. Passa a enviar os pacotes anteriormente bufferizados para esta estação, usando os mesmos parâmetros.
3. Lentamente restabelece o controle de fluxo com a estação fixa.

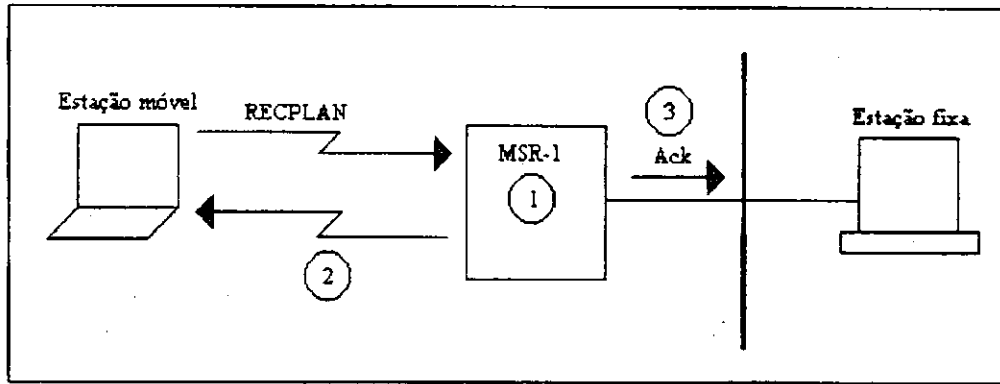


Figura 5.6. Reconexão da estação móvel.

Em segundo lugar é feita a análise do caso em que houve a migração da estação móvel para uma nova célula durante o período de desconexão, como por exemplo para o MSR-2. Após o MSR-2 receber a mensagem de reconexão, a mesma detecta que é uma estação nova e nesta mensagem consta o endereço do MSR anterior (MSR-1), então o MSR-2 envia uma mensagem de aviso (*beacon*) para a estação móvel para iniciar o processo de *handoff* com o MSR-1. Deste modo o processo de *handoff* é executado conforme indicado anteriormente na figura 6.4 e segue todos os passos. Depois do *handoff* ter sido completado, o MSR-2 assume esta estação móvel e segue os mesmos passos conforme indicados para o caso em que não houve migração (passos 1, 2 e 3) conforme ilustração da figura 6.6 vista anteriormente.

Por último é feita a análise do caso onde a estação móvel se encontra na célula coberta por uma rede local diferente da rede local original. Neste caso primeiramente deve haver uma comunicação prévia dos MSR's cobertos por ambas redes locais, transferindo informações dos processos em questão para posteriormente seguir os passos normais como se estivessem na mesma rede local.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou a visão abrangente dos problemas encontrados nas mais diversas áreas como por exemplo na camada de rede e transporte. Pôde-se observar que existem algumas propostas para tentar resolver alguns problemas a nível de roteamento e localização das estações móveis. Um dos principais problemas encontrados é o de se manter uma conexão com uma estação móvel que está constantemente mudando de área, ou seja, célula. Este problema é denominado de *handoff* e impacta consideravelmente no desempenho da comunicação.

A nível de transporte foi analisado os principais problemas existentes neste nível quando ocorre o *handoff* que degrada a comunicação devido ao TCP entender que está havendo congestionamento que é comum em redes fixas e deve ser tomado este procedimento e quando ocorre o *handoff* o procedimento deve ser tratado especialmente para a conexão ser restabelecida imediatamente após a conclusão do mesmo.

Em breve, as redes de computadores deverão incluir ligações sem fio e equipamentos móveis em suas arquiteturas. Especificamente, serão redes locais compostas de células sem fio de poucos metros de diâmetro. Tais redes usam picocélulas por três importantes razões: elas oferecem grande largura de banda, requerem pouca potência nos transceptores móveis, e fornecem informações precisas a respeito da locação. Como exemplo prático, os usuários em meios de picocélulas muitas vezes percorrem com seus equipamentos por entre as células sem nenhuma forma de aviso. [Cac94].

A conclusão mais importante deste trabalho é o fato de se enxergar nitidamente a necessidade das desconexões planejadas em virtude de se precisar trabalhar de uma forma desconectado para economizar energia como exemplo, além de outras razões como em uma viagem passar-se por lugares não cobertos por células.

As desconexões planejadas são entendidas como um estado intermediário entre conectado e totalmente desconectado (como conhecido hoje) que deste modo precisa de consideração

especial. Para que a desconexão planejada ocorra, uma estação móvel (MH) pode conscientemente decidir ficar no modo cochilo (*doze off*) para economizar energia e realizar alguma tarefa local sem necessariamente quebrar a conexão corrente de uma rede ou afetar seus parâmetros de controle de fluxo ou descontinuar esta aplicação.

Contribuições deste trabalho:

- ✓ Estudo e pesquisa a respeito da área de telecomunicações de redes móveis, incluindo sua infra-estrutura: comunicação celular, comunicações via satélite, redes locais sem fio, etc.
- ✓ Estudo das soluções a nível de rede, como exemplo: IMHP, VIP e *Columbia*.
- ✓ Estudo das soluções a nível de transporte, como exemplo: Modelo fast retransmission, extensão da fase *slow-start*, proposta *snoop*, protocolo I-TCP, proposta *last hop*.
- ✓ Estudo das propostas para operação nos modos parcialmente conectado e desconectado, além de *workflow*.
- ✓ Proposição para alteração da proposta denominada de I-TCP para permitir o modo parcialmente conectado.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Mediante o estudado, podemos sugerir vários trabalhos nas diversas áreas aqui estudadas como por exemplo propostas a nível de rede e a nível de transporte, como também uma proposta que possa unir as já existentes para formar uma única. Um outro ponto importante é o estudo a nível de melhoria das baterias dos *palmtops* para aumentar seu desempenho e também aumentar sua capacidade no que diz respeito a tempo de atuação de uma forma ininterrupta.

A nível de protocolos temos as propostas para alteração do TCP/IP com o intuito de melhorar seu desempenho como é o caso dos protocolos a nível de rede o IMHP, que tem grandes possibilidades de ser adotado como padrão. O protocolo VIP usa o mecanismo de rede virtual, é considerada também uma excelente proposta, muito embora tenha problemas no que diz respeito a quantidade de mensagens transportadas que pode inviabilizar o projeto. Quanto aos protocolos a nível de transporte, podemos destacar o I-TCP por se tratar de uma outra idéia, que separa uma conexão TCP em duas, facilitando o uso de desconexões planejadas. A proposta SNOOP/ROUTING PROTOCOL é também considerada importante, muito embora é sugerida pequena alteração no código TCP da estação móvel, onde as alterações propostas tentam manter a parte fixa da rede sem nenhuma modificação, bem como sem ter que recompilar nem relinkar quaisquer aplicações existentes.

Mediante as propostas que foram estudadas, pode-se sugerir a simulação da proposta apresentada neste trabalho, bem como a sua implementação.

BIBLIOGRAFIA

- [Abr96] Abrishamkar, F., and Siveski, Z., PCS global mobile satellites, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 132-136.
- [Aca96] Acampora, A., Wireless ATM: perspective on issues and prospects, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 4, Agosto de 1996, pp. 8-17.
- [Agr96] Agrawal, P., Hyden, E., Krzyzanowski, P., Mishra, P., Srivastava, M. B., and Trotter, J. A., SWAN: a mobile multimedia wireless network, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 2, Abril de 1996, pp. 18-33.
- [Aky96a] Akyol, B. A., and Cox, D. C., Rerouting for handoff in a wireless ATM network, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 5, Outubro de 1996, pp. 26-33.
- [Aky96b] Akyildiz, I. F., and Ho, J. S. M., On location management for personal communications networks, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 138-145.
- [Alo95] Alonso, G., Günthör, Kamath, M., Agrawal, D., El Abbadi, A., and Mohan C., Exotica/FMDC: handling disconnected clients in a workflow management system, IBM Almaden Research Center, San Jose, USA, 12p.
- [And95] Anderson, Jorgen B., Rappaport, Theodore S., and Yoshida, Susumu, Propagation measurements and models for wireless communications channels, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 42-49.
- [Arm95] Armbrüstwer, Heinrich, The flexibility of ATM: supporting future multimedia and mobile communications, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33 N^o 2, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Fevereiro de 1995, pp. 76-84.
- [Aya96] Ayanoglu, E., Eng, K. Y., and Karol, M. J., Wireless ATM: limits challenges and proposals, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 4, Agosto de 1996, pp. 18-34.
- [Bai96] Baier, P. W., Jung, P., and Klein, A., Taking the challenge of multiple access for third-generation cellular mobile radio systems - a European view, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 2, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Fevereiro de 1996, pp. 82-89.
- [Bak94] Bakre, Ajay, and Badrinath, B. R., I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts, Department of Computer Science - Rutgers University, Piscataway, Outubro de 1994, 18p.
- [Bal95] Balakrishnan, Hari, Seshan, Srinivasan, and Katz, Randy H., Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks, Computer Science Division - Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California at Berkeley - California, Novembro de 1995, 18p.
- [Ban94] Bantz, David F., Bauchot, and Frédéric J., Wireless LAN design alternatives, *IEEE Network*, Março/Abril de 1994, pp. 43-53.

- [Bat94] Bates, Regis J., *Wireless networked communications*, United States of America: McGraw-Hill, 1994, 295p.
- [Bor96] Borgonovo, F., Fratta, L., Zorzi, M., and Acampora, A., Capture division packet access: a new cellular access architecture for future PCNs, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 154-162.
- [Bur94] Burghardt, Frederick L., *Architecture and implementation of the InfoPad network prototype*, Berkeley, Junho de 1994, 62p.
- [CÁC94] Cáceres, Ramón, and Ifode, Liviu, Improving the performance of reliable transport protocols in mobile computing environments, *IEEE*, to appear in *JSAC*, Special issue on mobile computing networks, 1994, 17p.
- [Cal94] Callendar, M. H., Future public land mobile telecommunication systems, *IEEE Personal Communications*, Vol. 1 N^o 4, Fourth Quarter de 1994, pp. 18-22.
- [Cas97] Castro, H. de S., Júnior, J. R. I. R., Silveira, J. A. N. e Monteiro, A. M. V., Trisputer: o computador de bordo do primeiro microssatélite brasileiro, Julho de 1997, pp. 1-13.
- [Cav96] Cavalcanti, Johnny Wilson Araújo, e Cunha, Paulo Roberto Freire, *Computação móvel (Desafios e propostas de suporte à computação móvel) - artigo*, Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Dezembro de 1996, 33p.
- [Cel95] Celandroni, N., Ferro, E., Portorti, F., Bellini, A., and Pirri, F., Practical experiences in interconnecting LANs via satellite, *Computer Communication Review - ACM Sigcomm*, Vol. 25 N^o 5, Outubro de 1995, pp. 56-68.
- [Chh96] Chhaya, H. S., and Gupta, S., Performance of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 5, Outubro de 1996, pp. 8-15.
- [Com91a] Comer, Douglas E., *Internetworking with TCP/IP Vol. 1., principles, protocols, and architecture*, Second Edition, Department of Computer Sciences - Purdue University, Prentice-Hall International, Inc., 1991, 547p.
- [Com91b] Comer, Douglas E., and Stevens, David L., *Internetworking with TCP/IP Vol. 2, design, implementation, and internals*, Department of Computer Sciences - Purdue University, Prentice-Hall International, Inc., 1991, 532p.
- [Coo94] Cook, C. I., Development of air interface standards for PCS, *IEEE Personal Communications*, Vol. 1 N^o 4, Fourth Quarter de 1994, pp. 30-34.
- [Cox95] Cox, Donald C., and Greenstein, Larry J., *Wireless personal communications*, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, 1p.
- [Das96a] Dasilva J. S., Barani, B., and Arroyo, B., European mobile communications on the move, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 2, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Fevereiro de 1996, pp. 60-69.

- [Das96b] Dasilva J. S., Arroyo, B., Barani, B., and Ikonomou, D., European third-generation mobile systems, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 10, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Outubro de 1996, pp. 68-83.
- [Das97] Dasilva J. S., Ikonomou, B., and Erben, Heiko, European R&D programs on third-generation mobile communication systems, *IEEE Personal Communications*, Vol. 4 N^o 1, Fevereiro de 1997, pp. 46-52.
- [Dec91] Deering, S., ICMP router discovery messages, Network Working Group (RFC 1256), Xerox PARC, Setembro de 1991, 19p.
- [Des95] Desimone, Antonio, and Nanda, Sanjiv, *Wireless data: Systems, standards, services*, Performance Analysis Department - AT&T Laboratories, Holmdel, 30p.
- [Dev94] Devoney, Chris, A nação sem fios, *Revista Windows Computing*, Vol. 1 N^o 0, São Paulo: Editorial América do Brasil Ltda., Julho de 1994, pp. 52-77.
- [Dub97] Dube, R., Rais, C. D., Wang, K. Y., and Tripathi, S. K., Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks, *IEEE Personal Communications*, Vol. 4 N^o 1, pp. 36-45
- [Dys95] Dyson, Peter, *Novell dicionário de redes*, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995, 396p.
- [Fal95] Falconer, David D., Adashi, Fumiyuki, and Gudmundson, Björn, Time division multiple access methods for wireless personal communications, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Fevereiro de 1995, pp. 76-84.
- [Fal96] Falconer, D., A system architecture for broadband millimeter-wave access to an ATM LAN, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 4, Agosto de 1996, pp. 36-41.
- [Fri94] Frison, B., Woinsky, M., and Kripalani, A., Preparing the way for PCS, *IEEE Personal Communications*, Vol. 1 N^o 4, Fourth Quarter de 1994, pp. 10-11.
- [Fru96] Frullone, M., Riva, G., Grazioso, P., and Falciasecca, G., Advanced planning criteria for cellular systems, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 N^o 6, Dezembro de 1996, pp. 10-15.
- [Gar96] Garg, V. K., and Wilkes, J. E., Interworking and interoperability issues for north american PCS, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 3, Março de 1996, pp. 94-99.
- [Hay94] Hayes, S., A standard for the OAM&P of PCS systems, *IEEE Personal Communications*, Vol. 1 N^o 4, Fourth Quarter de 1994, pp. 24-29.
- [Hub97] Hubbel, Yvette C., and Sanders, Lockheed Martin, A comparison of the IRIDIUM and AMPS systems, *IEEE Network*, Vol. 11 No 2, Março/Abril de 1997, pp. 52-59.
- [Hus96] Husain, S. S., and Marocchi, J. A., Intelligent network: a key platform for PCS interworking and interoperability, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 98-105.

- [Imi95] Imielinski, Tomasz, and Badrinath, B. R., Mobile wireless computing: Challenges in Data Management, Wireless Information Network Laboratory (WINLAB) - Rutgers University, 1995, 17p.
- [Jab95] Jabbari, Bijan, Colombo, Giovanni, Nakajima, Akihisa, and Kulkarni, Jayant, Network issues for wireless communications, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 88-98.
- [Jab96] Jabbari, B., Teletraffic aspects of evolving and next-generation wireless communication networks, IEEE Personal Communications, Vol. 3 N^o 6, Dezembro de 1996, pp. 4-9.
- [Jún95] Júnior, J. H. T., Compêndio de computação distribuída, Campina Grande: Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB, 1995, 253p. (Dissertação, Mestrado em Ciência da Computação).
- [Kha95] Khan, Mobeen, and Kilpatrick, John, MOBITECH and mobile data standards, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 3, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Março de 1995, pp. 96-101.
- [Kho95] Khono, Ryuji, Meidan, Reuven, and Milstein, Laurence B., Spread spectrum access methods for wireless communications, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 58-67.
- [Kor96] Korinthios, J. A., Sykas, E. D., and Theologou, M. E., Numbering and addressing aspects of the UMTS's integration into the fixed network infrastructure, IEEE Personal Communications, Vol. 3 N^o 2, Abril de 1996, pp. 62-71.
- [LaM96] LaMaire, R. O., Krishna, A., and Bhagwat, P., Wireless LANs and mobile networking: standards and future directions, IEEE Communications Magazine, Vol. 34 N^o 8, Agosto de 1996, pp. 86-94.
- [Lau94] Lauer, Gregory S., In architectures for implementing universal personal telecommunications, IEEE Network, Março/Abril de 1994, pp. 6-16.
- [Lin96] Lin, Yi-Bing, and Chlamtac, I., Heterogeneous personal communications services: integration of PCS systems, IEEE Communications Magazine, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 106-113.
- [Lin97] Lin, Yi-Bing, OA&M for the GSM network, IEEE Network, Vol. 11 N^o 2, Março/Abril de 1997, pp. 46-51.
- [Mag96] Magedanz, T., Integration and evolution of existing mobile telecommunications systems toward UMTS, IEEE Communications Magazine, Vol. 34 N^o 9, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Setembro de 1996, pp. 90-96.
- [Man95] Manzoni, Pietro, Ghosal, Dipak, and Serazzi, Giuseppe, Impact of mobility on TCP/IP: An integrated performance study, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 33 N^o 5, Junho de 1995, pp. 858-867.

- [Mey95] Meyr, Heinrich, and Subramanian, Ravi, Advanced digital receiver principles and technologies for PCS, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 67-78.
- [Moh96] Mohan, S., Privacy and authentication protocols for PCS, IEEE Personal Communications, Vol. 3 N^o 5, Outubro de 1996, pp. 34-38.
- [Mol94] Molva, Refik, Samfat, Didier, and Tsudik, Gene, Authentication of mobile users, IEEE Network, Março/Abril de 1994, pp. 26-34.
- [Mot95] Mota, José Carlos, Redes móveis (mobile networks), Departamento de Sistemas e Computação - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Setembro de 1995, 10p.
- [Mul95] Mullender, Sape, Distributed systems, Second Edition, New York: ACM Press, 1995, 601p.
- [Myl93] Myles, Andrew, and Skellern, David, Comparing four IP based mobile host protocols, High Speed Networks Group - School of Mathematics, Physics, Computing, Electronics, Macquarie University 2109, Sydney-Australia, Elsevier Science Publishes B. V., 1993, pp. 349-355.
- [Myl95] Myles, Andrew, Johnson, David B., and Perkins, Charles (Member, IEEE), A mobile host protocol supporting route optimization and authentication, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 13 N^o 5, Junho de 1995, pp. 839-849.
- [Noe96] Noerpel, A. R., Lukander, P., Chang, L. F., Varma, V. K., and Lipper, E. H., Supporting PACS on a GSM MSC, IEEE Communications Magazine, Vol. 34 N^o 9, Setembro de 1996, pp. 114-123.
- [Pad95] Padgett, Jay E., Günther, Christoph G., and Hattori, Takeshi, Overview of wireless personal communications, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 28-41.
- [Pah95] Pahlavan, Kaveh, Probert, Thomas H., and Chase, Mitchel E., Trends in local wireless networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 N^o 3, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Março de 1995, pp. 88-95.
- [Per93] Perkins, Charles, Providing continuous network access to mobile hosts using TCP/IP, Elsevier Science Publishes B. V., 1993, pp. 357-369.
- [Per95a] Perkins, Charles, IP encapsulation within IP, Internet Engineering Task Force - Internet Draft, IBM Corporation, Julho de 1995, 7p.
- [Per95b] Perkins, Charles, and Johnson, David B., Mobility support in Ipv6, Ipv6 Working Group - Internet Draft, IBM Corporation/Carnegie Mellon University, Junho de 1995, 21p.
- [Per96] Perkins, Charles, and Johnson, David B., Mobility support in Ipv6, Ipv6 Working Group - Internet Draft, IBM Corporation/Carnegie Mellon University, Janeiro de 1996, 22p.

- [Pet95] Peterson, R. L., Ziemer, R. E., and Borth, D. E., Introduction to spread-spectrum communications, New Jersey: Prentice Hall, 1995, 689p.
- [Pic78] Picquenard, A., Telecomunicações avançadas: sistemas e tecnologia, São Paulo: Ed. Nacional, 1978, 183p.
- [Pol94] Polinni, Gregory P., and HAAS, Zygmunt, E-BAMA vs. RAMA, IEEE Network, Março/Abril de 1994, pp. 18-25.
- [Pry93] Prycker, Martin de, Asynchronous transfer mode solution for broadband ISDN, Second Edition, Great Britain: Ellis Horwood Limited, 1993, 331p.
- [Ray96] Raychaudhuri, D., Wireless ATM networks: architecture system design and prototyping, IEEE Personal Communications, Vol. 3 Nº 4, Agosto de 1996, pp. 42-49.
- [Roc94] Rocha, Helder, e Martins, Paulo, Redes sem fio alternativas e tendências (artigo), Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Outubro de 1994, 47p.
- [Sad97] Sadok, D. H., Planned mobile application and transport disconnection support, (artigo), Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Setembro de 1997, 13p.
- [Sal97] Salgado-Galicia, H., Sirbu, M., and Peha, J. M., A narrowband approach to efficient PCS spectrum sharing through decentralized DCA access policies, IEEE Personal Communications, Vol. 4 No 1, Fevereiro de 1997, pp. 24-34.
- [Soa95] Soares, L. F. G., Lemos, G., e Colcher, S., Redes de computadores das LANs MANs e WANs às redes ATM, Segunda Edição, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995, 705p.
- [Sou96] Souza, A. A., Uma extensão da plataforma de distribuição para suportar a computação móvel, Recife: Centro de Ciências Exatas e da Natureza da UFPE, 1996, 139p. (Dissertação, Mestrado em Ciência da Computação).
- [Sta90] Stallings, W., Handbook of computer-communications standards, Vol. 2, Second Edition, New York: Macmillan Publishing Company, 1990, 274p.
- [Sta94] Stallings W., Advances in local and metropolitan area networks, IEEE Computer Society Press – Los Alamitos, California, 1994, 435p.
- [Ste94] Steenstrup, Martha, Mobile communications, IEEE Network, Março/Abril de 1994, pp. 5.
- [Ste95a] Steele, Raymond, Whitehead, James, and Wong, W. C., System aspects of cellular radio, IEEE Communications Magazine, Vol. 33 Nº 1, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Janeiro de 1995, pp. 80-86.
- [Ste95b] Steele, Raymond, Williams, John, Chandler, Derek, Dehghan, Shirin, and Collard, Aidan, Teletraffic performance of GSM900/DSC1800 in street microcells, IEEE Communications Magazine, Março de 1995, pp. 102-108.

- [Tan94] Tanenbaum, Andrew S., *Redes de computadores*, Segunda Edição, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994, 786p.
- [Tan95] Tanenbaum, Andrew S., *Distributed operating systems*, New Jersey: Prentice Hall, 1995, 614p.
- [Tan96] Tanenbaum, Andrew S., *Computer Networks*, Third Edition, New Jersey: Prentice Hall, 1996, 813p.
- [Tar84] Tarouco, Liane M. R., *Redes de comunicação de dados*, Terceira edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984, 218p.
- [Tar86] Tarouco, Liane M. R., *Redes de computadores - locais e de longa distância*, São Paulo: McGraw-Hill, 1986, 353p.
- [Ter94] Teraoca, Fumio, Wehara, Keisuke, Sunahara, Hideki, and Murai, Jun, VIP: A protocol providing host mobility, *Communications of ACM*, Vol. 37 Nº 8, Agosto de 1994, pp. 67-113.
- [Tho96] Thompson, J. S., Grant, P. M., and Mulgrey, B., Smart antenna arrays for CDMA systems, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 Nº 5, Outubro de 1996, pp. 16-25.
- [Toh97] Toh, C-K, A unifying methodology for handovers of heterogeneous connections in wireless ATM networks, *Computer Communication Review – ACM Sigcomm*, Vol. 27 Nº 1, Janeiro de 1997, pp. 12-30.
- [Ume96] Umehira, M., Nakura, M., Sato, H., and Hashimoto, A., ATM wireless access for mobile multimedia: concept and architecture, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 Nº 5, Outubro de 1996, pp. 39-48.
- [Val94] Valdovinos, Antonio, and Casadevall, Fernando J., Equalization and space diversity techniques in mobile environments, *IEEE Network*, Março/Abril de 1994, pp. 36-42.
- [Var96] Varma, V. K., and Harasty, D. J., Architecture for interworking data over PCS, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 Nº 9, Setembro de 1996, pp. 124-130.
- [Wal96] Walke, B., Petras, D., and Plassmann, D., Wireless ATM: air interface and network protocols of the mobile broadband system, *IEEE Personal Communications*, Vol. 3 Nº 4, Agosto de 1996, pp. 50-56.
- [Yue96] Yue, On-Ching, Design trade-offs in cellular/PCS systems, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34 Nº 9, Setembro de 1996, pp. 146-152.
- [Zai94] Zaid, M., Personal mobility in PCS, *IEEE Personal Communications*, Vol. 1 Nº 4, Fourth Quarter de 1994, pp. 12-16.