

2 PROVENDO QoS EM REDES MÓVEIS SEM FIO

As alterações freqüentes e randômicas na localização dos nós móveis, entre outros fatores, fazem com que os esquemas de fornecimento de qualidade de serviço para redes fixas não se adequem aos ambientes sem fio. Ao permitir a mobilidade com base em estações, a suposição implícita feita, por exemplo, pelo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) sobre a existência de pontos finais fixos para a reserva eficiente de recursos (reserva a partir do receptor) fica inválida. Além disso, é difícil prever quais recursos estarão disponíveis para um nó móvel em suas futuras localizações. A partir dessa afirmativa, feita por Chugh (2000), pode-se dizer que os esquemas atuais não apresentam condições de manter a mesma QoS negociada com o nó móvel através de seus deslocamentos. Portanto, é preciso ou modificar as propostas existentes, tais como o RSVP, ou definir um novo paradigma para oferecer suporte à mobilidade (Figura 2.1).

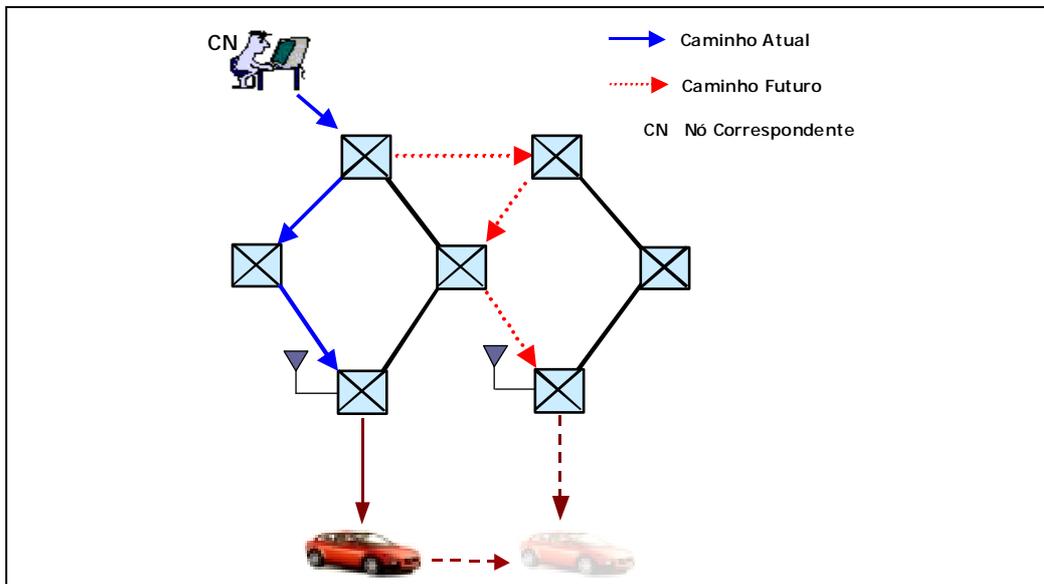


Figura 2.1 O problema da mobilidade

2.1 CONCEITOS RELEVANTES PARA A PROVISÃO DE QoS EM REDES MÓVEIS SEM FIO

Nesta seção, alguns conceitos serão brevemente introduzidos de modo a familiarizar o leitor com os aspectos que devem ser considerados, em ambientes móveis, para se garantir a provisão de QoS, como o encaminhamento de pacotes, o

conceito de reservas antecipadas e a necessidade de se efetuar a predição dos deslocamentos do usuário. Ainda nesta seção, ilustraremos o funcionamento de um protocolo de reserva de recursos através do RSVP, seguindo-se uma breve discussão sobre a limitação do seu uso nesses ambientes.

2.1.1 ENTENDENDO O PROTOCOLO IP MÓVEL

O IP Móvel especifica melhorias que tornam possível o roteamento transparente de datagramas IP a nós móveis na Internet, adicionando suporte à mobilidade ao nível de rede (Solomon, 1998). Este protocolo permite que os nós móveis (*Mobile Nodes* – MN) se comuniquem com os outros nós usando sempre o mesmo endereço IP, independente do seu ponto atual de acesso à Internet. Um nó móvel possui dois endereços IP: um permanente (endereço local), pertencente à sua rede de origem, e um temporário (endereço *care-of*), associado à rede à qual está conectado atualmente. Dois elementos desempenham um papel importante nesse protocolo: o agente local (*Home Agent* – HA) e os agentes estrangeiros (*Foreign Agents* – FA). O HA é o ponto de acesso ao qual o nó móvel está originalmente conectado. Inicialmente, o HA recebe os pacotes de outro nó na Internet e os encaminha para o nó móvel. Quando este altera a sua localização, conectando-se a outro ponto de acesso (FA), ele comunica ao seu HA o seu novo endereço IP, ou seja, seu endereço *care-of*, o qual pode ser o endereço de um FA ou um endereço *co-located*. O endereço *care-of* de um agente estrangeiro é um endereço IP que corresponde a um agente de mobilidade na rede estrangeira. O endereço *co-located* é obtido pelo nó móvel como um endereço IP local, através, por exemplo, de DHCP. Essa mudança de localização é transparente para o nó correspondente (*correspondent node* – CN)⁷, que continua enviando os pacotes para o mesmo endereço IP. O HA recebe todos os pacotes endereçados ao nó móvel e os encaminha para o FA, através do estabelecimento de um túnel. O efeito “triangular” é produzido devido ao fato de que todos os pacotes devem passar primeiro pelo HA, mesmo se o ponto de acesso atual pertencer à mesma rede que o nó correspondente (Figura 2.2). Portanto, essa é a principal desvantagem do IP Móvel: os pacotes de dados enviados pelo nó correspondente ao

⁷ CN designa o nó com o qual o MN está se comunicando, podendo ser estacionário ou móvel.

nó móvel geralmente são encaminhados por rotas significativamente maiores do que a ótima.

Para corrigir esse problema, foi proposta uma extensão ao IP Móvel, a *Otimização de Rotas* (Perkins, 1998), que está ilustrada na Figura 2.3. Essa extensão permite o roteamento de pacotes de dados do nó correspondente diretamente para o nó móvel, sem que seja necessário encaminhar os pacotes através do HA. Isso é possível armazenando-se no nó correspondente, em uma estrutura denominada *binding cache*⁸, a posição atual do nó móvel, ou seja, seu endereço *care-of*. O agente local envia mensagens de atualização de *binding* para o nó correspondente e, se existe uma entrada no *binding cache*, o endereço *care-of* é utilizado para enviar as mensagens diretamente para o nó móvel. Caso contrário, o nó correspondente envia os pacotes direcionados ao HA como no modo normal de operação do IP Móvel.

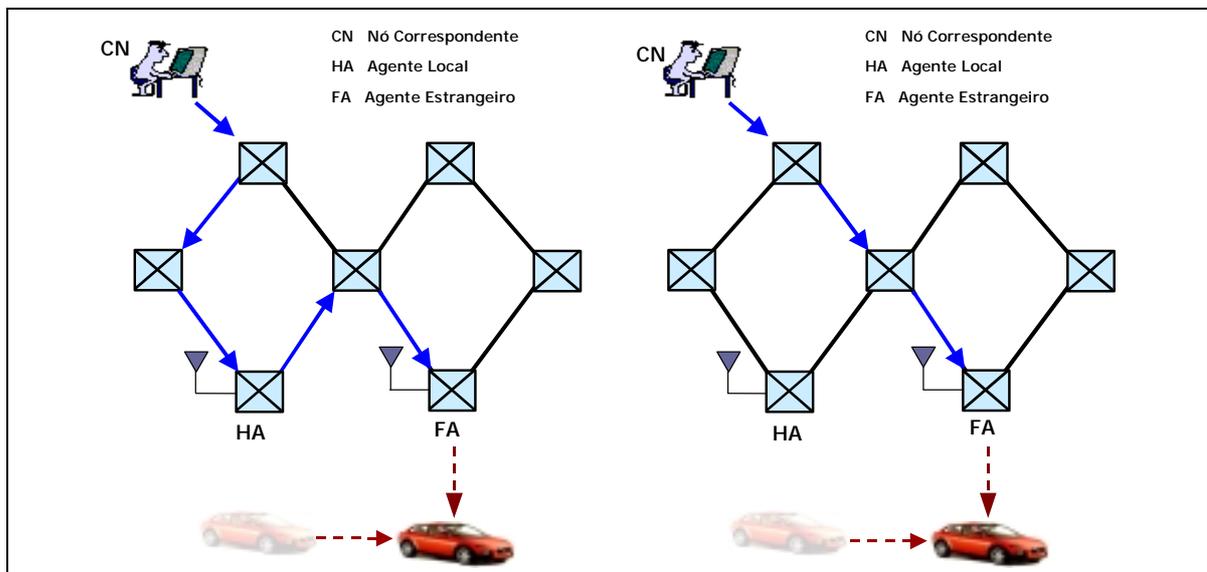


Figura 2.2 IP Móvel

Figura 2.3 IP Móvel com otimização de rota

Embora o encaminhamento de datagramas IP seja muito mais eficiente empregando-se o mecanismo de otimização de rotas, essa abordagem apresenta alguns inconvenientes. Com a otimização de rotas, o nó correspondente deve oferecer suporte aos mecanismos relacionados à mobilidade. Isso viola o objetivo principal do IP Móvel, ou seja, assegurar que a mobilidade seja transparente para as aplicações.

⁸ O termo *binding* é empregado para denominar a associação do endereço *care-of* com o endereço local do nó móvel.

2.1.2 ENTENDENDO O FUNCIONAMENTO DO RSVP

Por definição, o RSVP (Braden et al., 1997) é um protocolo de sinalização usado para reservar os recursos da rede para fluxos *unicast* e *multicast*. Para efetuar reservas de recursos em um nó, o RSVP *daemon* comunica-se com dois módulos locais de decisão, o *controle de admissão* e o *controle de política* (Chugh, 2000) (Figura 2.4).

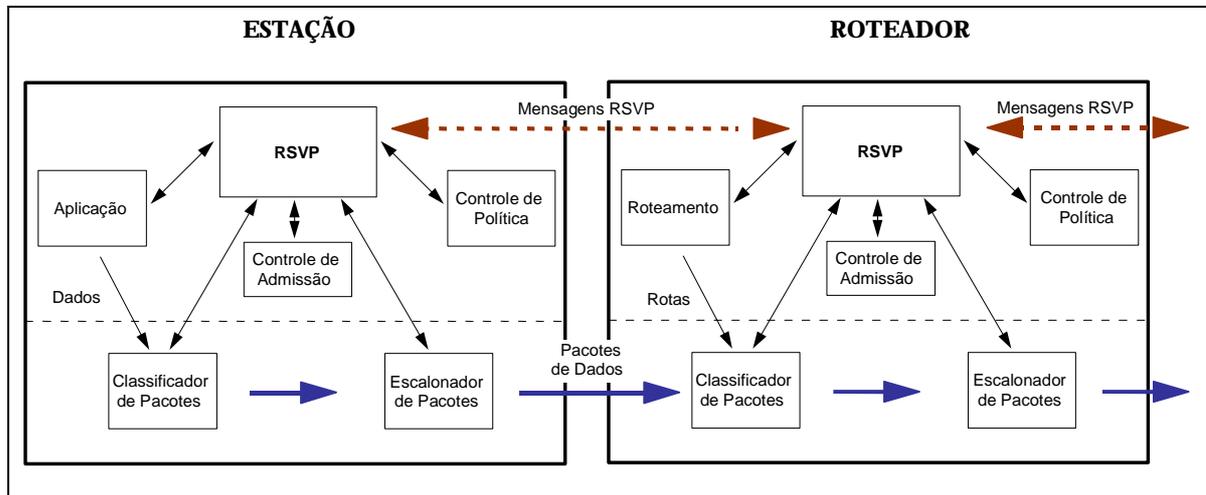


Figura 2.4 RSVP em estações e roteadores

O módulo de controle de admissão verifica a disponibilidade dos recursos que têm sido solicitados, enquanto o módulo de controle de política verifica se o usuário tem permissões administrativas para obter a reserva. Se alguma dessas duas verificações falhar, o RSVP *daemon* retorna um erro para a aplicação que solicitou a requisição; se ambas as verificações obtiverem sucesso, o RSVP *daemon* ajusta os parâmetros no *classificador de pacotes* e no *escalonador de pacotes* para obter a QoS desejada. O classificador de pacotes determina a classe de QoS à qual cada pacote pertence, sendo responsabilidade do escalonador controlar a transmissão de pacotes de modo a garantir a QoS contratada para cada fluxo.

O projeto do RSVP tem sido norteado pelos seguintes objetivos:

- oferecer suporte a receptores heterogêneos;
- realizar reserva de recursos para aplicações *unicast* e *multicast*, adaptando-se dinamicamente em casos de modificações de componentes dos grupos;
- agregar reservas dependendo das necessidades da aplicação;

- permitir mudanças no canal em uma comunicação com diversos participantes;
- adaptar-se a alterações de rotas;
- controlar o *overhead* provocado pelo protocolo de controle;
- oferecer suporte a IPv4 e IPv6;
- ser modular.

Para alcançar esses objetivos, os projetistas têm aplicado alguns princípios básicos de projeto, a saber:

- reserva iniciada pelo receptor;
- separação da reserva através da filtragem de pacotes;
- provisão de diferentes modelos ou estilos de reserva para atender a uma variedade de aplicações, inclusive a reserva compartilhada entre vários fluxos;
- manutenção de uma reserva temporária (*soft-state*) em roteadores e estações;
- agregação das mensagens de controle para reduzir o *overhead* gerado pelo protocolo de controle;
- transporte e manutenção de parâmetros de controle de tráfego e controle de políticas de forma transparente por roteadores que não suportam o protocolo.

Existem sete tipos de mensagens no RSVP:

1. *Path*: configura o caminho através do qual a reserva é estabelecida.
2. *Resv*: configura o estado das reservas nos roteadores.
3. *PathErr*: notifica erros na configuração do caminho.

4. *ResvErr*: notifica erros na configuração da reserva e a rejeição da solicitação de reserva.
5. *PathTear*: remove caminhos e estados de reserva temporários.
6. *ResvTear*: remove estados de reservas.
7. *ResvConf*: envia a confirmação de uma reserva.

Cada origem de dados envia periodicamente uma mensagem *Path*, que estabelece o *estado do caminho* nos roteadores, ao longo do caminho que vai do transmissor para os receptores. Cada receptor envia periodicamente uma mensagem *Resv*, que ativa o *estado da reserva* nos roteadores ao longo do caminho reverso, ou seja, do receptor para o transmissor (Figura 2.5). Uma mensagem *Path* carrega o *TSpec* do transmissor, o qual define as características do tráfego do fluxo de dados que o transmissor irá gerar. O endereço de destino pode ser um endereço *unicast* ou *multicast*. Quando um roteador recebe uma mensagem *Path*, ele verifica se já existe o estado do caminho para o fluxo e, caso não exista ele o cria. O roteador então obtém as interfaces de saída da mensagem *Path* através do protocolo de roteamento, e a mensagem *Path* é encaminhada caso corresponda a um novo fluxo ou exista alguma alteração nas rotas. Caso contrário, o roteador descarta a mensagem *Path* e passa a enviar periodicamente suas próprias mensagens *Path* contendo a informação em seu estado do caminho.

Ao receber uma mensagem *Path* de uma origem, um receptor envia uma mensagem *Resv*, que contém a especificação da QoS (*flowspec*) que o receptor está disposto a negociar. O *flowspec* em uma requisição de reserva será geralmente incluído em uma classe de serviço e possuirá dois conjuntos de parâmetros numéricos: (1) o *RSpec*, que define a QoS desejada e (2) o *TSpec*, que descreve as características do tráfego do fluxo de dados. Os formatos e conteúdos do *TSpec* e do *RSpec* são determinados pelo módulo de serviços integrados e são geralmente transparentes ao RSVP. A mensagem *Resv* percorre o caminho reverso do fluxo de dados, seguindo do receptor para o transmissor. Se em qualquer roteador ao longo desse caminho a reserva é rejeitada, o roteador envia uma mensagem *ResvErr* para o receptor.

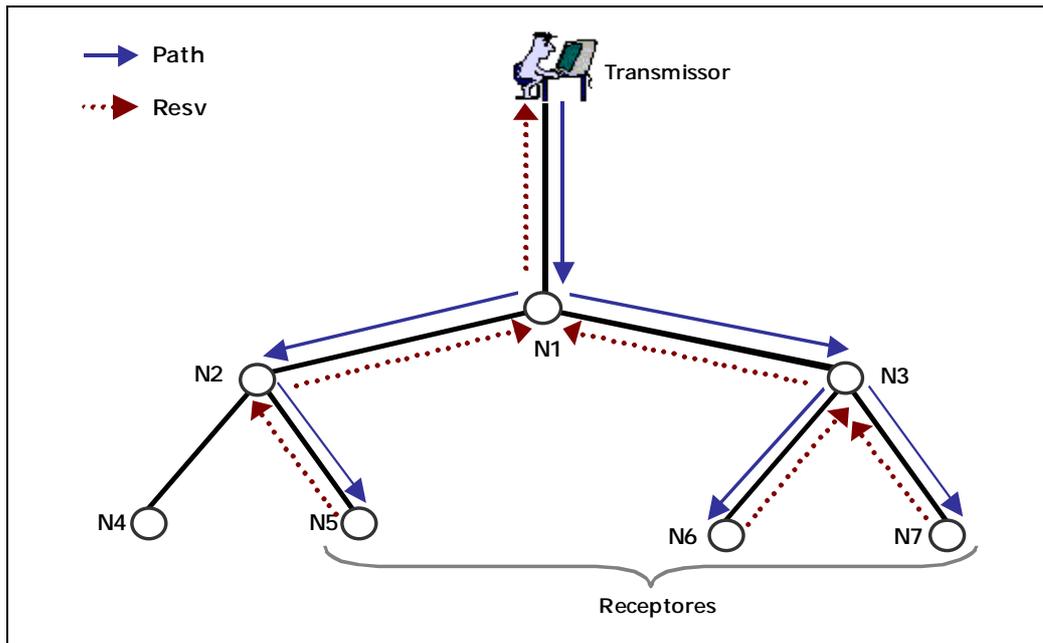


Figura 2.5 Troca de mensagens *Path* e *Resv* no RSVP

No RSVP, um fluxo pode ser identificado pelo seu *endereço de destino*, o *identificador do protocolo* e a *porta de destino*. Essas informações são transmitidas através das mensagens RSVP em seu objeto SESSION.

2.1.2.1 LIMITAÇÕES DO RSVP REFERENTES À MOBILIDADE

Fazer reserva de recursos para oferecer serviços de tempo real aos usuários móveis exige características adicionais que não são atualmente contempladas no RSVP. Isso ocorre por duas razões principais. A primeira é que, para se oferecer garantias de serviço, considerando-se a mobilidade do usuário, é necessário que se efetue a reserva de recursos em todas as localidades para as quais o nó móvel possa se deslocar durante o tempo que durar a sessão do usuário. A segunda razão é que, para os usuários com aplicações menos exigentes, para as quais não é necessário reservar os recursos antecipadamente, o processo de estabelecimento de reservas ao longo do caminho para a nova localidade do nó móvel deve ser rápido o suficiente para minimizar a interrupção provocada pelo *handoff*. O mecanismo periódico de renovação de reservas do RSVP não é capaz de responder adequadamente ao *handoff* dos nós móveis (Talukdar et al., 2001; Chugh, 2000).

Detalhando os problemas relacionados a provisão de QoS pelo RSVP, pode-se dizer que:

- A manutenção do estado por fluxo (*per-flow*) não é uma solução escalável para redes com muitas estações e nós intermediários.
- Não oferece suporte a reservas antecipadas.
- No seu modo tradicional de operação, as reservas só podem ser iniciadas a partir da localidade onde o receptor está atualmente. No RSVP, um nó móvel não pode efetuar uma reserva antecipada a partir de uma localização na qual ele não se encontra. Para um nó móvel, mensagens *Path* ou *Resv* devem ser originadas a partir das localizações onde ele deseja efetuar as reservas antecipadas.
- Um receptor não possui a capacidade de distinguir entre diferentes requisições de caminho em nome de um mesmo nó originadas a partir de localidades diferentes. No RSVP, o endereço IP e o número da porta são usados para identificar o transmissor. Uma mensagem *Path* transporta o endereço IP de sua origem no objeto `SENDER_TEMPLATE`⁹. Se um nó móvel estiver atuando como transmissor, ele enviará mensagens *Path* a partir das várias localidades em sua especificação de mobilidade. Desse modo, um nó intermediário (um receptor ou um roteador) não conseguirá identificar o transmissor através do endereço contido no `SENDER_TEMPLATE`.
- Não oferece suporte a reservas sobre túneis IP-em-IP, mesmo que os roteadores no túnel ofereçam funcionalidades RSVP. O que se tem são os pacotes de dados que solicitam reservas de recursos dentro de um túnel fornecendo, além do endereço IP, alguma outra informação visível aos roteadores intermediários, de modo que estes possam distinguir entre pacotes pertencentes a diferentes sessões RSVP.

A Figura 2.6 ilustra uma visão geral da integração dos mecanismos comentados nas seções anteriores, garantindo ao RSVP, através dessa combinação, o suporte à mobilidade.

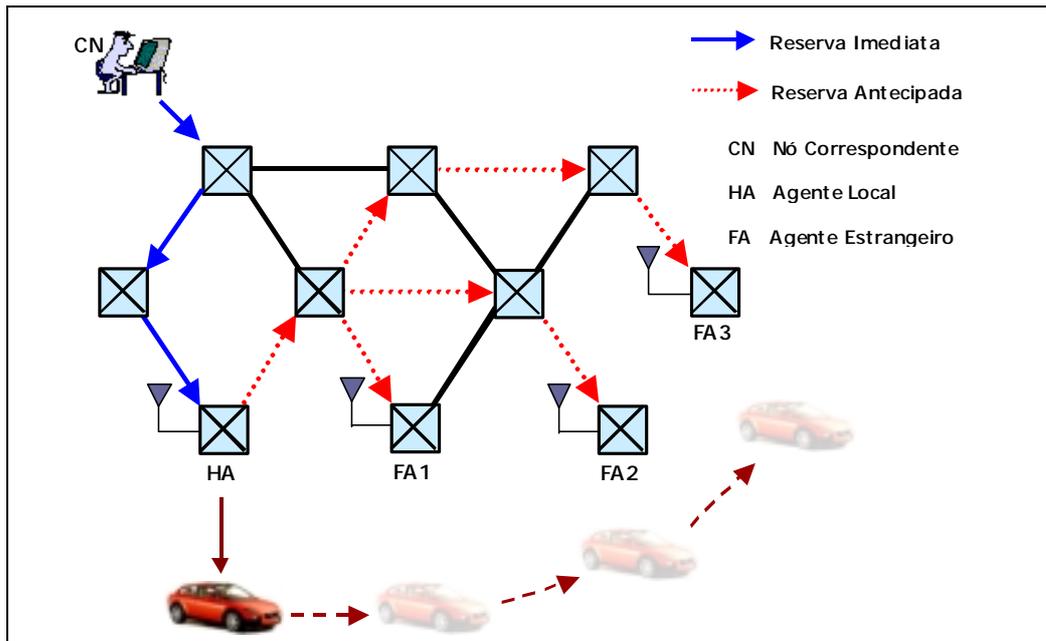


Figura 2.6 Visão geral: RSVP + IP Móvel + Reservas Antecipadas + Túneis IP

Por simplificação, deste ponto em diante se assumirá que os cenários de estabelecimento de reservas de recursos são constituídos por receptores móveis e transmissores fixos¹⁰, o que não ocasionará perda de generalidade.

2.1.3 O CONCEITO DE RESERVAS ANTECIPADAS

Segundo Degemark et al. (1995), “onde os recursos são abundantes, nem mesmo reservas imediatas devem ser necessárias, mas, onde os recursos são escassos o suficiente para justificar que se efetuem reservas, faz sentido ser capaz de efetuar as antecipadamente”¹¹. É essa a proposta do ReRA (*Resource Reservation in Advance*): determinar com antecedência a necessidade de se utilizar um determinado recurso e efetuar a sua reserva antecipadamente. Como exemplo, pode-se considerar uma locadora de vídeos tradicional onde um usuário solicita um vídeo por um período de tempo específico. Em um sistema de vídeo sob demanda, isso significa que os recursos necessários para recuperar, transferir e apresentar o vídeo devem ser

⁹ Esse objeto pode conter apenas o endereço IP do transmissor e opcionalmente a sua porta TCP/UDP, assumindo a identificação do protocolo especificado para a sessão.

¹⁰ Em um cenário real, podem existir situações nas quais o receptor é fixo e o transmissor é móvel ou ainda aquelas onde tanto o receptor quanto o transmissor são móveis.

¹¹ Este trecho trata-se de uma tradução livre ao português do texto originalmente escrito em inglês.

reservados previamente no servidor de vídeo, na rede, no roteador. Além dessas áreas de aplicação (vídeo sob demanda, vídeo conferência), pode-se ainda mencionar os sistemas de controle de processos de produção, nos quais os dados devem ser processados e transmitidos em um tempo crítico, ou mesmo aplicações em telemedicina (Wolf & Steinmetz, 1997).

2.1.3.1 O MODELO DE RESERVA DE RECURSOS ANTECIPADA

Esta subseção apresenta a noção de reserva antecipada, descrevendo o modelo básico do ReRA. Para distinguir os esquemas de reserva de recursos usados no ReRA, são consideradas duas características principais:

- se os recursos são utilizados no momento em que a reserva é efetuada; e
- se a duração da reserva é conhecida no momento em que ela é efetuada.

Isso nos leva a uma matriz simples, apresentada na Tabela 2.1:

UTILIZAÇÃO DO RECURSO	DURAÇÃO DA RESERVA	
	CONHECIDA	DESCONHECIDA
IMEDIATA	não-ReRA / ReRA	não-ReRA
ADIADA	ReRA	?

Tabela 2.1 Classificação dos Esquemas de Reserva de Recursos

Os sistemas de gerenciamento de recursos tradicionais (não-ReRA) assumem que os recursos são imediatamente utilizados após a sua reserva e não fazem nenhuma suposição sobre a duração dessas reservas. O esquema ReRA, ao contrário, é caracterizado pelo adiamento do uso dos recursos e por reservas cuja duração seja conhecida, a qual, possivelmente, poderá ser ampliada.

Torna-se difícil implementar esquemas ReRA caso a duração das reservas não possa ser determinada em tempo de execução. Por esse motivo, foi incluído um ponto de interrogação na entrada correspondente a essa situação na Tabela 2.1. No caso em que o uso é imediato e a duração da sessão é conhecida, ambos os esquemas podem ser empregados.

2.1.3.2 O MODELO BÁSICO

Para garantir um modelo apropriado ao ReRA, os projetistas tomaram como base inicial os cenários comuns de reserva do dia a dia (Wolf & Steinmetz, 1997). Nesses cenários, ações apropriadas são solicitadas como parte da reserva – por exemplo, é necessário definir em que momento e para quantas pessoas se pretende efetuar uma reserva. A Figura 2.7 ilustra um modelo simples para definir essas ações, regulando a interação entre o solicitante da reserva, que pode ser a própria aplicação cliente ou um agente ReRA atuando em seu benefício, e o provedor do serviço, por exemplo, a rede e as aplicações do servidor.

O esquema ReRA consiste de duas fases:

- reserva de recursos antecipada; e
- uso dos recursos reservados.

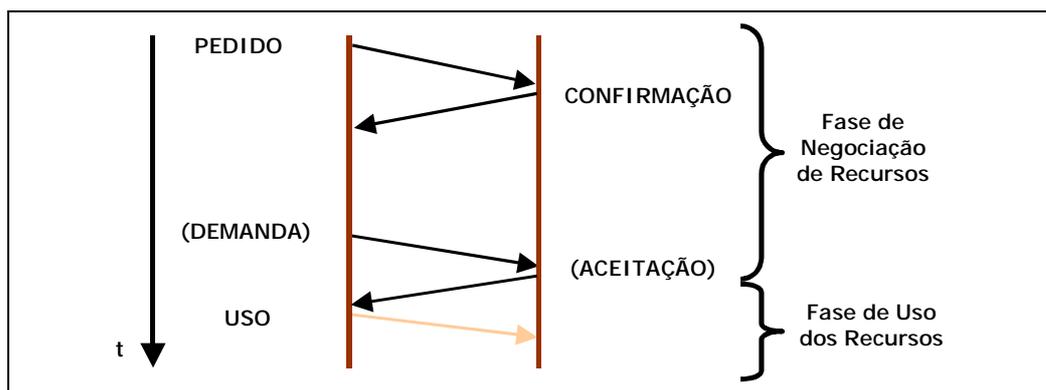


Figura 2.7 Primitivas da reserva antecipada de recursos

Na primeira fase, o cliente distribui um *pedido* e especifica a natureza da sua requisição indicando quanto da capacidade do recurso deverá ser reservado para a sua aplicação, ou seja, ele fornece uma *especificação da carga de trabalho*. O usuário também especifica os pontos no tempo que definem o *início* e a *duração* da reserva. O provedor do serviço pode então *confirmar* a reserva. Como parte dessa confirmação, é possível oferecer ao cliente um *identificador da reserva* para que ele possa referenciá-la posteriormente.

A segunda fase tem início no instante que antecede o uso da reserva pelo cliente. O cliente contata o provedor do serviço para *demandar* os recursos previamente reservados. Nesse momento, pode ser solicitada a apresentação de

algum tipo de identificação, a qual estará sujeita à *aceitação* do provedor de serviço. Depois de receber essa aceitação, o cliente eventualmente fará *uso* da sua reserva, utilizando os recursos reservados.

É possível simplificar esse esquema eliminando as etapas de *demanda* e *aceitação* (Wolf & Steinmetz, 1997). Nesse caso, o cliente tenta fazer uso dos recursos alocados diretamente, com a identificação do cliente sendo associada ao seu *uso*. De qualquer forma, o esquema descrito na Figura 2.7 é mais adequado, pois oferece ao gerente do sistema a capacidade de preparar a fase de uso do recurso, permitindo uma maior flexibilidade. Vale lembrar que geralmente torna-se necessário modificar as reservas no último instante. Voltando aos cenários comuns de reserva do dia a dia, uma analogia típica seria a chegada de um casal de visitantes inesperado para o jantar, o que faria com que mais lugares fossem postos à mesa. No esquema de *demanda* e *aceitação*, a *demanda* pode ser usada para ajustar as reservas de forma apropriada, quando possível. Por outro lado, uma *aceitação* explícita do provedor de serviço é desejável pois informa ao cliente que tudo foi preparado de modo que a sua solicitação seja atendida.

2.1.3.3 TIMING

Para se definir apropriadamente o sistema ReRA, é importante avaliar os relacionamentos temporais entre os eventos. Consideremos a Figura 2.8:

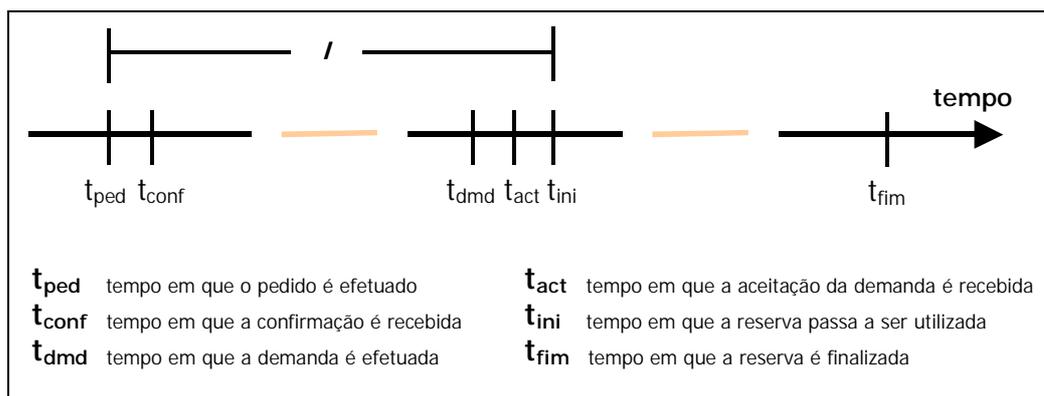


Figura 2.8 Modelo ReRA de sequenciamento temporal

No trabalho de Wolf & Steinmetz (1997), assume-se que a distância entre t_{ped} e t_{conf} seja pequena, aproximadamente da ordem do retardo tolerado pelo mecanismo RPC (*Remote Procedure Call*). O mesmo se aplica a t_{dmd} , t_{act} , e t_{ini} . Por outro lado, t_{ped} e t_{ini} estão provavelmente distantes, com essa distância podendo ser da ordem de semanas

ou meses. O intervalo de tempo entre a reserva do recurso e a sua utilização será denominado I :

$$I = t_{ini} - t_{ped}$$

Quando I é muito pequeno, é desnecessário efetuar uma reserva ReRA e um esquema de reserva normal pode ser adotado. O sistema ReRA pode definir um valor mínimo para I , I_{min} , de modo que as requisições com:

$$t_{ini} - t_{ped} < I_{min}$$

sejam rejeitadas. Da mesma forma, pode ser definido para I um valor I_{max} , evitando, assim, que as aplicações solicitem suas reservas com muita antecedência. Essas definições tornam mais clara a Tabela 2.1 no que diz respeito à possibilidade de se utilizar ou não reservas ReRA: o valor de I_{min} pode ser usado para decidir qual dos esquemas deve ser adotado.

2.1.4 A PREDIÇÃO DE MOBILIDADE

A mobilidade dos usuários é característica das redes sem fio. Nesse ambiente, informações relacionadas à localização do nó móvel são de extrema importância para o estabelecimento de reservas de recursos. De modo a garantir a provisão da QoS, é necessário conhecer com antecedência as localidades que serão visitadas pelo nó móvel enquanto ele estiver utilizando o serviço contratado. Em algumas situações, também poderão ser obtidos parâmetros temporais, como, por exemplo, o momento em que os deslocamentos irão ocorrer e o tempo pelo qual os nós permanecerão nas localidades visitadas.

As próximas subseções têm como objetivo ilustrar algumas das técnicas encontradas na literatura que têm sido comumente utilizadas por mecanismos que se propõem a efetuar a predição dos deslocamentos dos usuários. A Subseção 2.1.4.1 traz alguns dos esquemas utilizados na predição de mobilidade e a Subseção 2.1.4.2 apresenta alguns dos aspectos considerados na definição de modelos de mobilidade.

2.1.4.1 ALGORITMOS PARA PREDIÇÃO DE MOBILIDADE

Vários algoritmos têm sido apresentados nos últimos anos com o objetivo de oferecer uma solução eficiente para a questão da predição da mobilidade. Prever antecipadamente e com precisão o deslocamento de um usuário móvel não é um problema trivial. Pela análise feita por Chan et al. (1998), pode-se observar a utilização de algoritmos sub-ótimos que levam em consideração o histórico de movimentos do usuário obedecendo a determinados critérios, como o *critério da direção* (baseado na direção atual), o *critério da localização* (baseado na localização atual), o *critério do segmento*¹² (estende o critério da direção sendo baseado em casamento de padrões), o *critério da regra de Bayes* (baseado na probabilidade condicional das futuras direções) e o *critério temporal* (baseado no critério da direção adicionando restrições temporais).

A utilização de históricos de movimentação individual apresenta algumas limitações. A primeira diz respeito à mudança de comportamento do usuário: uma alteração recente no seu padrão de deslocamento pode não fazer parte de um padrão recorrente de deslocamento registrado em seu histórico. A segunda limitação se manifesta quando um usuário se desloca em direção a uma localidade para a qual não existem registros anteriores de deslocamentos, ou seja, não há um histórico de mobilidade disponível.

A primeira limitação é solucionada com um mecanismo de atualização que leve em consideração a correção das últimas predições efetuadas. Já a segunda limitação pode ser solucionada utilizando-se um histórico de movimentação dos outros usuários presentes na nova localidade. Essa abordagem considera que o deslocamento do usuário seguirá o padrão de deslocamento dos seus vizinhos, desde que eles estejam se movimentando na mesma direção (*critério da correlação*).

Pela análise dos resultados obtidos por Chan et al. (1998) com o uso das heurísticas mencionadas anteriormente, pode-se afirmar que a maioria dos esquemas

¹² Nesse critério todos os movimentos anteriores são particionados em segmentos sendo posteriormente consultados para montagem do segmento atualmente em construção. O casamento de padrões é feito verificando se o segmento atual é idêntico a porção inicial de segmentos previamente armazenados. Nesse caso a célula imediatamente posterior ao padrão procurado é predita como sendo o próximo deslocamento do segmento em construção.

de predição apresenta uma precisão entre 50% e 70%. Os melhores resultados são observados com a utilização do critério da direção, o qual apresenta uma precisão de 72% nas predições efetuadas. Uma observação curiosa é que o critério de correlação fornece uma predição correta em 65% dos casos, podendo ser utilizado, por exemplo, nas estações base em conjunto com o critério da direção, que seria utilizado nas estações móveis, garantindo resultados satisfatórios.

Apesar da regularidade apresentada nos deslocamentos dos usuários, existem fatores que adicionam uma quantidade significativa de variações, quer influenciadas por questões do ambiente real do usuário (por exemplo, interdição de determinadas regiões por causa de congestionamentos no trânsito) ou mesmo por características do enlace sem fio (deve-se mencionar o efeito *ping pong* gerado pelas flutuações de recursos entre células vizinhas), as quais influenciam na precisão dos resultados dos algoritmos utilizados para efetuar a predição.

Avaliando a questão apresentada anteriormente, Chan et al. (2000) propõem um algoritmo que restringe a predição para somente o próximo movimento do usuário (1998). Um parâmetro chamado *Prediction Confidence Ratio* (PCR) é introduzido para expressar o grau de precisão da predição, o que irá influenciar na garantia da continuidade do serviço¹³. Esse algoritmo pode ser definido do seguinte modo:

- Uma predição é derivada da distribuição de probabilidade de todos os possíveis próximos deslocamentos do histórico de mobilidade. Se a primeira célula predita não apresenta uma probabilidade de ser a célula destino do nó móvel maior do que o valor de PCR, uma ou mais células extras serão adicionadas ao grupo de células.
- Este processo continuará até que a soma das probabilidades das células preditas exceda o valor de PCR.

Combinando a utilização desse algoritmo com os critérios de direção e correlação mencionados anteriormente, os resultados obtidos estavam corretos em

¹³ O valor de PCR pode ser obtido pela tradução dos requerimentos de QoS da aplicação ou das preferências de tarifação dos usuários móveis (Chan et al., 1998).

87% dos casos utilizando-se o primeiro critério e em 82% dos casos utilizando-se o segundo.

Um mecanismo de predição interessante é apresentado por Yu & Leung (2002). Nessa proposta, o algoritmo de predição foi derivado das técnicas de compressão de dados. A motivação apontada para a adoção dessa solução são os estudos em teoria de aprendizado computacional, os quais mostram que predição é sinônimo de generalização e de compressão de dados. Essa técnica permite uma predição não somente das novas localidades visitadas pela estação móvel, mas também do momento no qual esse deslocamento irá ocorrer.

2.1.4.2 MODELOS DE MOBILIDADE

Outra abordagem utilizada para oferecer mecanismos de predição às ferramentas de gerenciamento de mobilidade são os modelos de mobilidade, amplamente ilustrados nos trabalhos de Nacif (2001) e Aljadhai (1999). O objetivo de se trabalhar com esses modelos é definir perfis que se adequem aos diferentes níveis de mobilidade dos usuários, levando em consideração o comportamento padrão desses usuários bem como a significativa quantidade de variações que podem vir a se manifestar.

Segundo relatado por Nacif (2001), a modelagem da mobilidade dos usuários é uma tarefa complexa, exigindo que se leve em consideração uma série de fatores que podem influenciar a seqüência de deslocamentos desses usuários. Propor um único modelo que contemple com precisão o comportamento de todos os usuários de uma rede móvel é uma tarefa inviável. Devido a essa percepção, o que se tem adotado é o agrupamento de usuários que apresentam um comportamento semelhante em categorias de mobilidade. Isso é feito com o objetivo de representar de forma mais precisa o cenário real de mobilidade de uma população de usuários em uma rede móvel.

Alguns fatores devem ser levados em consideração ao se definir os modelos de mobilidade de modo a caracterizar os diferentes tipos de usuários. Três atributos determinantes na caracterização da mobilidade do usuário são a sua localização, a velocidade na qual ele se desloca e a direção dos seus movimentos (Aljadhai, 1999). O itinerário do usuário é definido pela localização na qual a chamada é originada e

pelas localizações subseqüentes que serão visitadas pela unidade móvel, ou ainda através do mapeamento entre a localização geográfica do usuário e as células que cobrem essa região em um intervalo de tempo específico.

A velocidade do usuário define o espaço de tempo no qual ele permanecerá em cada célula. Se o usuário se deslocar lentamente, os *handoffs* serão menos freqüentes; caso os deslocamentos sejam mais constantes, será gerado um número maior de *handoffs*.

A direção do usuário pode se associar ao fator tempo e ser classificada como de curto prazo (*short-term*) ou de longo prazo (*long-term*). Uma direção dita de curto prazo corresponde à direção atual do usuário, a qual depende do seu comportamento atual. A direção a longo prazo diz respeito ao destino que o usuário deseja alcançar. Essa direção pode não ser conhecida, caso o destino da unidade móvel não seja informado de antemão. A unidade móvel pode se desviar temporariamente da sua direção de longo prazo, seguindo a direção de curto prazo, por exemplo, ao encontrar obstáculos gerados por problemas de trânsito.

Pode-se observar que algumas categorias de usuários se deslocam com freqüência na direção do seu destino final. Para esses usuários, a predição das células que representarão os seus deslocamentos pode ser obtida com um alto grau de correção. Por outro lado, existem usuários que não apresentam um padrão de deslocamento, possuindo uma mobilidade aleatória. Para esses usuários, a predição dos próximos movimentos é uma tarefa muito difícil.

Devido ao seu perfil de mobilidade, nem todas as unidades móveis oferecem condições para efetuar predições considerando parâmetros temporais. Na prática, quando esses fatores não são conhecidos, eles podem ser desconsiderados ou definidos estatisticamente, como observado no mecanismo de controle de admissão proposto por Reininger & Izmailov (1999).

Levando-se em consideração o que foi exposto anteriormente e seguindo a análise feita por Aljadhari (1999), podem ser apontadas quatro classes distintas de usuários móveis:

- *Usuários Estacionários*. Permanecem sempre dentro de uma mesma célula; por exemplo, usuários dentro de uma empresa sediada em um único prédio.

- *Usuários de Itinerário Fixo.* Usuários móveis para os quais a seqüência exata de células da origem ao destino é conhecida, como os que se deslocam em longas viagens de trem ou avião. Usuários que seguem sempre a mesma rotina pertencem também a esta classe.
- *Usuários Direcionados ao Destino.* Usuários que seguem o caminho mais curto de suas células de origem até as células de destino. Os usuários desta classe obedecem a uma mesma direção por um longo período enquanto se dirigem à sua célula de destino. Como exemplo, podem ser citados os motoristas de táxi, entregadores, unidades de emergência enviadas para localidades onde ocorrem acidentes, entre outros.
- *Usuários em Roaming* Seu padrão de deslocamento é aleatório. A direção de curto prazo muda frequentemente, não obedecendo a uma direção de longo prazo específica. Isso pode acontecer, por exemplo, com um usuário direcionado ao destino, por curtos intervalos de tempo, até que tenha concluído o seu itinerário.

É importante observar a classificação apresentada ao se definir os modelos de mobilidade, respeitando a diversidade de comportamentos existentes entre os usuários. A utilização desses modelos tem como objetivo melhorar os resultados obtidos pelo mecanismo de predição, através da escolha de algoritmos que sejam mais adequados ao padrão de deslocamento do usuário.

2.2 PROTOCOLOS PARA A PROVISÃO DE QoS EM REDES MÓVEIS SEM FIO

Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos que trazem algoritmos utilizados na pré-alocação de recursos, os quais propõem modificações ao mecanismo de reserva de recursos dos modelos de serviços integrados e diferenciados para que esses modelos possam atender às necessidades das redes móveis. Como exemplo de propostas que oferecem suporte aos serviços integrados são apresentados o MRSVP (*Mobile ReSerVation Protocol*) (Talukdar et al., 2001); o MQoSP (*Mobile QoS Protocol*), que utiliza como protocolo de sinalização o RSVP-A (*Resource ReSerVation Protocol in Advance*) (Pajares et al., 1999); e a proposta de um protocolo simples de reserva de recursos para nós móveis definido por Terzis et al.

(1999, 2000). Como será visto, todos esses trabalhos se apóiam no mecanismo de encaminhamento de pacotes descrito no IP Móvel e no mecanismo de sinalização para reserva de recursos definido no RSVP (Rajagopalan, 1996). Em seguida, serão apresentadas algumas modificações propostas ao modelo de serviços diferenciados para a provisão de QoS em redes móveis (Braun et al., 1999) e extensões a um esquema híbrido de operação dos serviços integrados sobre redes *diffserv* (Chugh, 2000).

Ainda nesta seção, um trabalho que merece destaque é o M-YESSIR (*Mobile YESSIR*) (Khosravi et al., 2001). Ao contrário dos protocolos mencionados anteriormente que se baseiam no RSVP, o M-YESSIR é uma extensão do protocolo de sinalização YESSIR (*YEt another Sender Session Internet Reservation*) (Pan & Schulzrine, 1998). O YESSIR é fortemente integrado ao RTP (*Real-time Transport Protocol*); os pedidos de reserva são iniciados pelo transmissor para reduzir o processamento adicional de mensagens entre transmissor e receptor, o que é uma preocupação em redes *ad hoc*. Essa abordagem é interessante em ambientes móveis, em que um dos objetivos é diminuir o *overhead* provocado pela troca de mensagens geradas pelo protocolo de sinalização, já que tanto o enlace sem fio quanto a energia são recursos escassos.

2.2.1 MOBILE RESERVATION PROTOCOL

O protocolo MRSVP (Talukdar et al., 2001), desenvolvido como uma extensão ao RSVP, tem como propósito oferecer serviços em tempo real a usuários móveis em uma rede de serviços integrados funcionando sobre o IP Móvel. O MRSVP configura dois tipos de reservas: *ativas* e *passivas*. O nó móvel fará uma *reserva ativa* para a sua célula atual, mas também fará *reservas passivas* para cada uma das possíveis células para as quais ele irá se deslocar. Quando um nó móvel se desloca de uma célula para outra, a reserva ativa efetuada no transmissor para a sua localização anterior será transformada em uma reserva passiva e a reserva passiva para a sua nova célula será transformada em uma reserva ativa. O processo de conversão de uma reserva passiva em uma reserva ativa deve ser rápido o suficiente para minimizar a interrupção do fluxo devido ao *handoff*. Reservas ativas e passivas para uma mesma sessão são agrupadas nos roteadores da mesma forma que ocorre com as requisições RSVP. Para melhorar a utilização dos recursos, a largura de banda reservada

passivamente deve ser usada por outros fluxos que estejam trafegando naquela localidade, naquele momento, e que requeiram garantias de QoS menos rígidas. Entretanto, esses fluxos podem ser afetados no momento em que as reservas passivas tornem-se ativas (por exemplo, quando um nó móvel se desloca para aquela localidade), já que uma porção da largura de banda terá que ser cedida.

Na proposta do MRSVP é utilizado o conceito de agentes *proxy* para efetuar reservas ao longo dos caminhos a partir das localizações contidas na especificação de mobilidade do transmissor para as localizações na especificação de mobilidade do receptor. O agente *proxy* na célula atual do receptor é chamado de *agente proxy local*, e aqueles que correspondem às outras localizações no seu MSPEC são chamados *agentes proxies remotos*. Os agentes *proxies* remotos efetuam as *reservas passivas* em benefício do nó móvel, enquanto o agente *proxy* local atua como um roteador normal. As questões que surgem desse comportamento são relacionadas à determinação de quem será o agente *proxy* para um nó móvel particular (*Protocolo de Descoberta de Proxy*) e como o seu MSPEC será gerado, ou seja, como se determina com antecedência o conjunto de localizações para as quais o nó móvel irá se deslocar. O protocolo MRSVP assume que o nó móvel conhece o seu arquivo de especificação de mobilidade de antemão através de algum mecanismo externo, que não é discutido por Chugh (2000).

2.2.1.1 CLASSES DE SERVIÇO

O protocolo introduz três novas classes de serviço derivadas das classes de serviço *garantido*¹⁴ e *preditivo*¹⁵, a saber (Talukdar et al., 2001): i) *Mobility Independent Guaranteed* (MIG), ii) *Mobility Independent Predictive* (MIP) e iii) *Mobility Dependent Predictive* (MDP).

- MIG: Um usuário móvel admitido para esta classe irá receber *serviço garantido* quanto aos limites de retardo de pacotes. Esta classe é apropriada para

¹⁴ O serviço garantido não tolera qualquer violação, exigindo um limite de confiança absoluto sobre o retardo dos pacotes.

¹⁵ O serviço preditivo pode se adaptar a retardos de pacotes e dessa forma tolerar violações ocasionais.

aplicações intolerantes que exijam um limite absoluto sobre o retardo do pacote apesar da mobilidade da estação.

- MIP: Um usuário móvel admitido para esta classe irá receber *serviço preditivo* relativo aos limites de retardo de pacotes. Esta classe é apropriada para aplicações tolerantes que exijam um limite de retardo razoavelmente confiável em todas as localidades que possam vir a ser visitadas mas que não queiram ser severamente afetadas pela mobilidade das estações.
- MDP: Um usuário móvel admitido para esta classe receberá *serviço preditivo* em todas as localidades que ele possa vir a visitar durante o tempo que durar a sua conexão. Ocasionalmente, poderá ocorrer uma falha na obtenção do serviço e o nó móvel irá experimentar uma degradação severa na QoS. Seu fluxo poderá ser descartado quando a rede estiver sobrecarregada pela admissão, por exemplo, de fluxos MIG ou MIP, ou mesmo quando o nó móvel se deslocar para uma nova célula. Esta classe é apropriada para aplicações tolerantes que possam suportar os efeitos da degradação do serviço devido à mobilidade das estações.

Essas classes serão atendidas desde que o usuário esteja de acordo com a caracterização de tráfego informada ao provedor do serviço e enquanto os seus deslocamentos se limitarem às localidades contidas na sua especificação de mobilidade.

2.2.1.2 FUNCIONAMENTO DO PROTOCOLO

Por simplificação, será apresentado o funcionamento do protocolo MRSVP em um cenário com um transmissor fixo e um receptor móvel (Figura 2.9):

- O transmissor envia uma mensagem *Path* para o nó móvel em seu endereço *unicast* ou *multicast* (caso ele faça parte de algum grupo).
- O nó móvel responde enviando mensagens *Receiver_Spec*, contendo a especificação do fluxo, para todos os prováveis agentes estrangeiros que estejam listados no seu arquivo de especificação de mobilidade.

- No caso de reservas para um fluxo *unicast*, o nó móvel enviará o arquivo de especificação de mobilidade para o seu agente local.
- No caso de reservas para um fluxo *multicast*, o nó móvel irá solicitar aos agentes listados no arquivo de especificação de mobilidade que se juntem ao grupo *multicast*.
- Então, o nó móvel enviará uma mensagem *Resv* ao transmissor para efetuar uma reserva ativa. Ao receber as mensagens *Path* subsequentes, o nó móvel irá somente enviar mensagens *Resv* para o transmissor.
- Ao receber o arquivo de especificação de mobilidade, o agente local irá encaminhar por meio de túneis IP todas as mensagens *Path* direcionadas ao nó móvel para os agentes de mobilidade informados no MSPEC.
- Ao receber uma mensagem *Path* endereçada a um nó móvel que não está em sua rede, os agentes de mobilidade irão enviar uma mensagem *Resv* ao transmissor para fazer uma reserva passiva.
- Ao detectar uma mudança na taxa do fluxo, o nó móvel pode enviar uma nova especificação de fluxo para todos os agentes de mobilidade contidos em seu MSPEC.

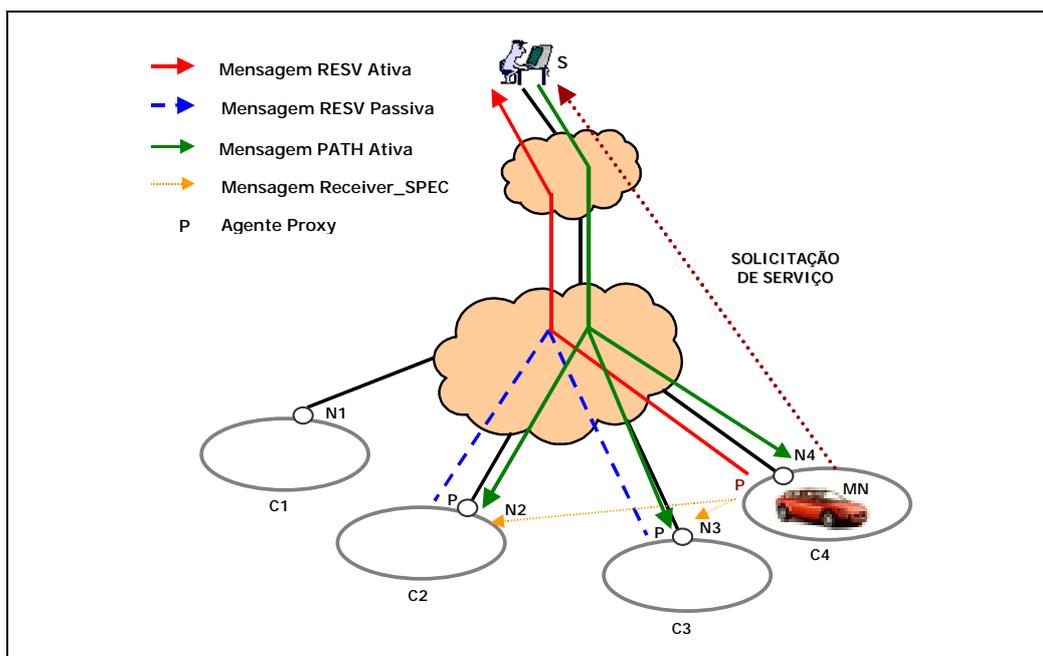


Figura 2.9 Efetuando reservas ativas e passivas no protocolo MRSVP

Alguns pontos devem ser considerados a respeito do projeto desse protocolo como, por exemplo, (i) o fato do seu funcionamento estar intimamente relacionado com a precisão do MSPEC do usuário, ou seja, a sua utilização requer que o usuário saiba antecipadamente para quais células irá se deslocar; (ii) o uso de reservas passivas, sem a introdução de parâmetros temporais, gera uma sub-utilização da já escassa largura de banda do enlace sem fio; e (iii) a grande quantidade de tráfego de controle gerado, já que cada usuário necessita atualizar periodicamente as suas reservas.

2.2.2 MOBILE QoS PROTOCOL

Outro trabalho que merece atenção é o MQoSP, apresentado por Pajares et al. (1999), no qual é utilizada uma extensão ao protocolo RSVP, o RSVP-A (*Resource Reservation Protocol in Advance*), introduzindo o conceito de reservas antecipadas (Wolf & Steinmetz, 1997) através do acréscimo de dois parâmetros temporais às mensagens *Resv tempo inicial e duração*.

Esse protocolo regula a troca de informações entre o nó móvel e o seu agente local para que uma certa garantia de QoS seja solicitada, oferecendo um conjunto de mensagens para configurar as reservas de recursos na rede, como pode ser visto na Tabela 2.2.

MENSAGEM	TRANSMISSOR	RECEPTOR	PARÂMETROS
MQoSP_REQUEST	MN	HA	identificador da sessão, nó correspondente, especificação de mobilidade, classe de serviço, parâmetros do serviço
MQoSP_RESPONSE	HA	MN	identificador da sessão, lista {FA, resultado}
MQoSP_RELEASE	MN	HA	identificador da sessão

Tabela 2.2 Mensagens do MQoSP

A principal desvantagem do MQoSP é o “efeito triangular” do roteamento de pacotes devido ao IP Móvel, fazendo com que o HA torne-se um gargalo, o que pode levar a problemas de escalabilidade. Embora o MQoSP possa trabalhar com a otimização de rotas do IP Móvel, esse mecanismo não é adotado. Outro ponto relevante é que, nessa proposta, as reservas antecipadas são efetuadas somente nos enlaces fixos, restringindo o seu uso às redes móveis infra-estruturadas.

Assim como o MRSVP, o MQoSP utiliza arquivos de especificação de mobilidade do usuário (MSPEC) para determinar os seus próximos deslocamentos, não se preocupando com a maneira através da qual essas informações são obtidas. Esses protocolos partem do pressuposto de que as informações são fornecidas pelo nó móvel, estando o desempenho de ambos diretamente relacionado à precisão desses arquivos.

2.2.2.1 RESOURCE RESERVATION PROTOCOL IN ADVANCE

O RSVP-A (Pajares et al., 1999) é uma extensão ao RSVP com a finalidade de oferecer a pré-alocação de recursos na Internet, enriquecendo as funcionalidades do esquema tradicional, que efetua reservas imediatas. As reservas antecipadas tornam-se ativas quando o *tempo inicial* é alcançado, permanecendo nesse estado durante o intervalo de tempo especificado pelo parâmetro *duração*. A qualquer momento é possível estender, reduzir ou modificar as reservas efetuadas através do envio de mensagens *Resv* com novos valores. Os recursos são liberados automaticamente quando o tempo final (*tempo inicial* mais *duração*) é atingido. A partir desse momento, se ainda existir algum dado para ser enviado, ele será encaminhado pelo serviço de melhor esforço.

2.2.2.2 NÓ MÓVEL ATUANDO COMO RECEPTOR NO MQoSP

i) Efetuando Reservas

O nó móvel (MN – *Mobile Node*) envia uma mensagem MQoSP_REQUEST contendo o identificador da sessão e o arquivo de especificação de mobilidade para o agente local (HA – *Home Agent*), como mostra a Figura 2.10. O RSVP *daemon* no HA é estendido para fornecer suporte ao RSVP-A. O HA cria uma mensagem *Path-A* e a envia para todos os agentes estrangeiros (FA – *Foreign Agent*) listados no MSPEC do MN. Essa mensagem *Path-A* contém informações adicionais de sincronismo para que as reservas antecipadas possam ser efetuadas.

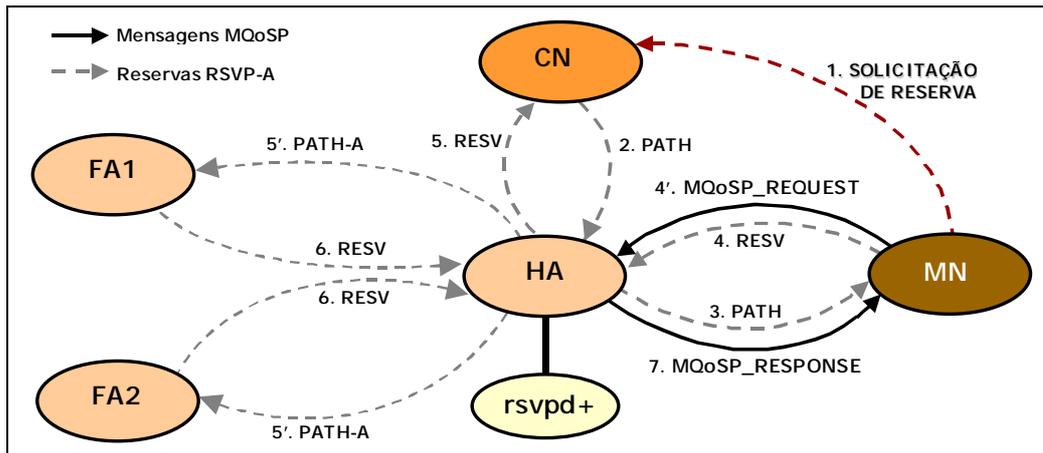


Figura 2.10 Efetuando reservas no MQoS com o nó móvel atuando como receptor

Os FAs efetuam a reserva antecipada e enviam mensagens *Resv* ao HA. Quando o HA toma conhecimento do resultado das solicitações de reservas de cada FA, ele envia uma mensagem *MQoS_RESPONSE* ao MN informando se as reservas antecipadas, por ele solicitadas, foram efetuadas ou não. O MN pode então resolver o que deve ser feito quando nem todas as reservas antecipadas forem bem sucedidas, podendo, por exemplo, não iniciar a sessão naquele instante ou iniciar a sessão e continuar tentando efetuar as reservas que não foram admitidas. O MN pode, também, prolongar ou reduzir a duração da reserva, modificando seus parâmetros através do envio de outra mensagem *MQoS_REQUEST* para o HA, informando os novos parâmetros.

ii) Liberando Reservas

Esta é uma tarefa mais simples que faz uso do mecanismo de liberação de reservas tradicional presente no RSVP, no qual, assim que a duração da reserva expira, o nó que solicitou a reserva envia uma mensagem *Path_Tear* para o receptor, que responde com uma mensagem *Resv_Tear* e a reserva é finalizada. Nesse esquema, o MN pode voluntariamente enviar ao seu HA um sinal para finalizar a reserva (*MQoS_RELEASE*). O HA responde enviando mensagens *Path_Tear* para todos os FAs com os quais o nó móvel mantém sessões e uma mensagem *Resv_Tear* para o nó correspondente (Figura 2.11).

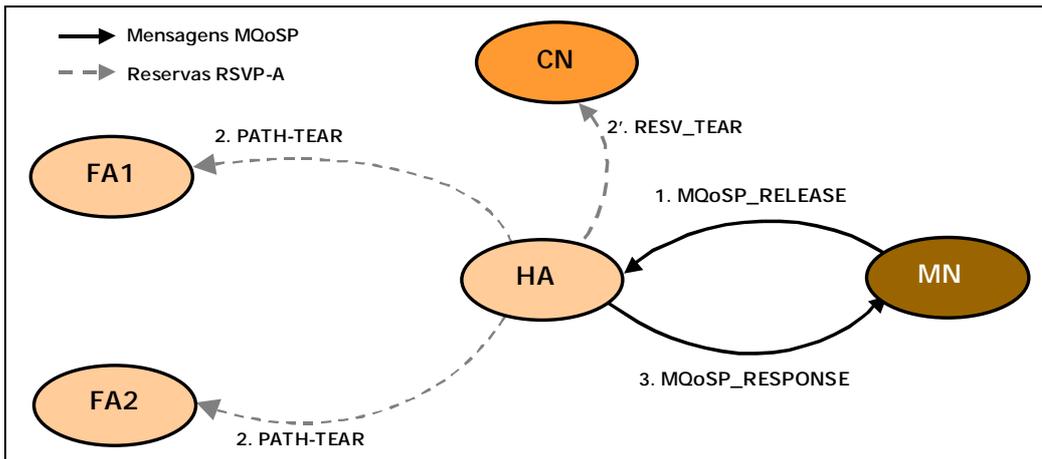


Figura 2.11 Liberando reservas no protocolo MQoSP

2.2.2.3 NÓ MÓVEL ATUANDO COMO TRANSMISSOR NO MQoSP

O cenário apresentado na Subseção 2.2.2.2 descreve a situação na qual o nó móvel atua como receptor. A ilustração da Figura 2.12 apresenta o nó móvel desempenhando a função de transmissor. A principal diferença é que, para os transmissores móveis, as reservas antecipadas são efetuadas dos FAs para o nó correspondente (ou dos FAs transmissores para o HA receptor se ambos, transmissor e receptor, são móveis). O conjunto de mensagens MQoSP deve ser estendido de modo a oferecer suporte à troca de informações entre o HA e os FAs (mensagens MQoSP_START e MQoSP_IND¹⁶). Além disso, o MN deve comunicar ao nó correspondente se as reservas antecipadas obtiveram sucesso, pois o nó correspondente não possui qualquer conhecimento sobre a mobilidade do transmissor. Se o nó correspondente não tiver a garantia de que obterá a QoS solicitada, ele pode decidir não iniciar a sessão. É também desejável que o nó correspondente informe uma aproximação da duração de sua sessão, de modo que o transmissor venha a considerar somente os FAs que ele irá visitar durante esse intervalo de tempo.

¹⁶ A mensagem MQoSP_START é responsável por acionar o envio de mensagens *Path* dos FAs para o CN, efetuando reservas antecipadas. A mensagem MQoSP_IND retorna o resultado das solicitações de reservas antecipadas.

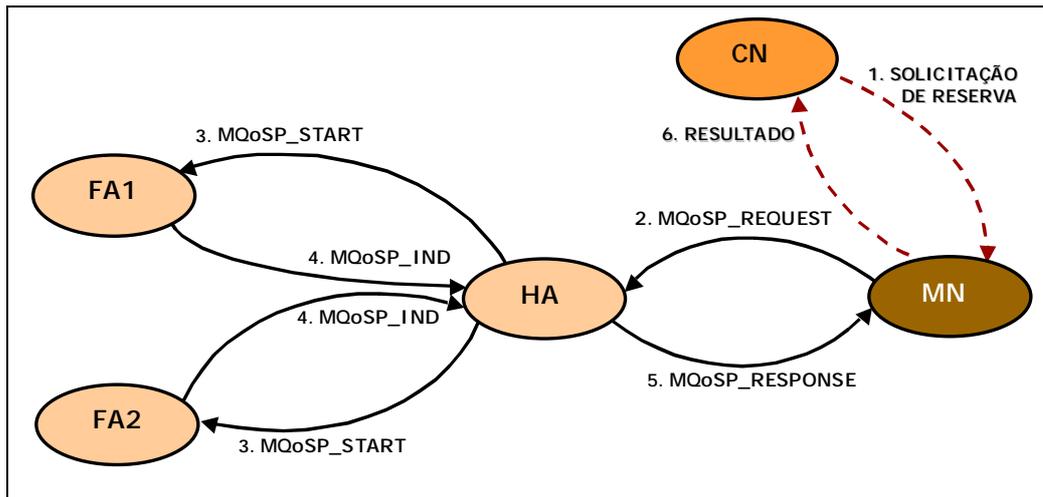


Figura 2.12 Efetuando reservas no MQoSP com o nó móvel atuando como transmissor¹⁷

2.2.3 UM PROTOCOLO SIMPLES PARA A RESERVA DE RECURSOS EM REDES MÓVEIS

A terceira abordagem a ser comentada trabalha com o encapsulamento de mensagens RSVP fim-a-fim sobre o túnel que conecta o agente local ao agente estrangeiro, aplicando recursivamente o RSVP para a conexão entre os agentes. Nessa proposta, um tópico importante é a acomodação do mecanismo de reserva através de túneis no IP Móvel. O encapsulamento do IP Móvel adiciona outro cabeçalho IP aos pacotes de dados (Perkins, 1996b), e todos os pacotes que são encaminhados pelo mesmo túnel IP transportam o mesmo cabeçalho. Entretanto, os pacotes de dados que exijam reserva de recursos dentro de um túnel devem fornecer, além dos endereços IP, alguma outra informação visível aos roteadores intermediários, de forma que estes possam distinguir entre pacotes de diferentes sessões RSVP.

Nessa abordagem, Terzis et al. (1999) descrevem como aumentar a capacidade de um túnel IP-em-IP adicionando suporte ao RSVP (Terzis et al., 2000). O encapsulamento IP+UDP se faz necessário para que se possa distinguir diferentes sessões RSVP, o que implica na adição de um cabeçalho UDP ao encapsulamento IP. As sessões RSVP são diferenciadas nos túneis IP somente pela porta de origem. O endereço de origem, o endereço de destino e a porta de destino podem ser os

¹⁷ As mensagens *Path* e *Resv* foram omitidas para que a figura não ficasse sobrecarregada.

mesmos para todas as sessões que estão sendo encaminhadas através do túnel. A porta UDP de origem é escolhida pelo ponto de entrada do túnel no momento em que ele envia a mensagem *Path* inicial para uma nova sessão RSVP¹⁸.

O protocolo descrito por Terzis et al. (1999) combina túneis RSVP pré-estabelecidos com o IP Móvel, buscando minimizar as mudanças necessárias ao RSVP enquanto aumenta a garantia de serviços sem interrupções durante o *handoff*. O protocolo propõe a adição de um bit “Q” nas solicitações de *descoberta de agente e registro* usadas no IP Móvel para indicar se o endereço *care-of* pode lidar com requisições de QoS.

A Figura 2.13 ilustra o funcionamento do protocolo com um receptor móvel. Inicialmente o nó móvel encontra-se na célula A. Ele começa a receber mensagens *Path* do CN (1) e envia mensagens *Resv* com o seu pedido de reserva (2). As mensagens *Resv* estabelecem o estado de reserva do MN por todo o caminho até o CN.

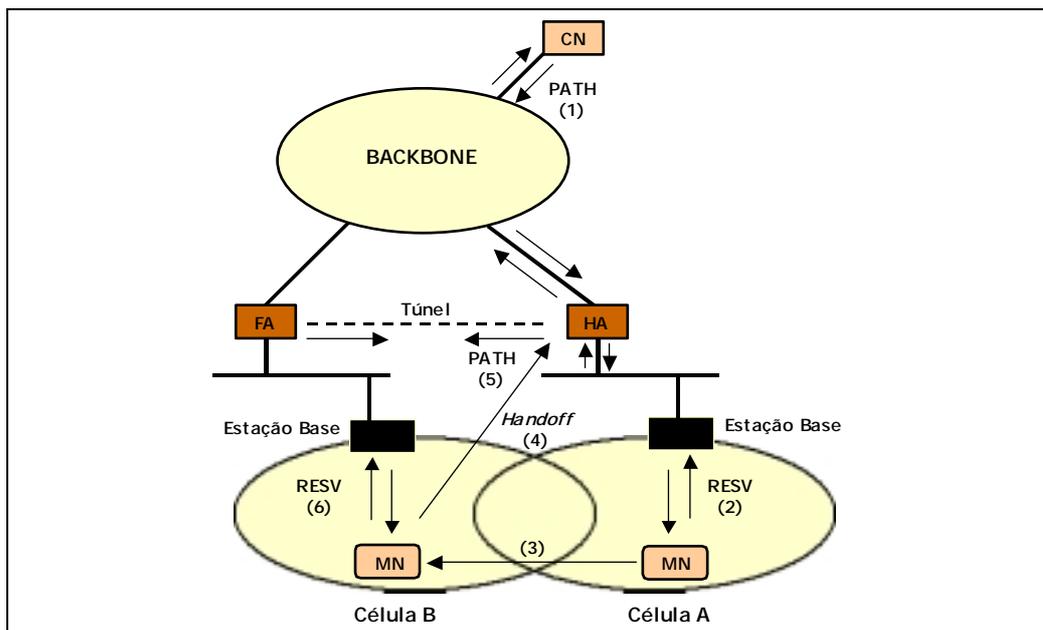


Figura 2.13 Funcionamento do protocolo com o nó móvel atuando como receptor

Quando o MN se desloca para a célula B (3), ele informa a sua nova localização ao seu agente local (4). Com essa informação, o HA (i) estabelece um túnel RSVP entre ele mesmo e o FA, se um túnel já não existir entre eles, e a seguir (ii) encapsula

¹⁸ Esse mecanismo (Terzis et al., 2000) é também adotado na proposta do MQoSP.

mensagens *Path* do CN e as envia através do túnel em direção à nova localização do MN (5). Para garantir a continuidade do serviço, com as garantias negociadas, o MN deve enviar uma mensagem *Resv* assim que receber uma mensagem *Path* na nova célula (6).

A Figura 2.14 apresenta um cenário no qual o transmissor é um nó móvel. Ao receber uma solicitação de serviço, o MN começa a enviar mensagens *Path* ao CN (1) e passa a receber mensagens *Resv* com o seu pedido de reserva (2). Ao se mover, o MN inicia um túnel reverso (Montenegro, 1998) do agente estrangeiro para o agente local (4). A idéia de se utilizarem túneis reversos advém do fato de que, quando o MN se desloca para a célula B (3), usando os túneis regulares do IP Móvel, seus pacotes irão seguir um caminho diferente em direção ao CN, não necessariamente aquele através do seu HA. A implicação desse fato é que mensagens *Path* enviadas a partir do MN agora seguirão um caminho diferente até um ponto de convergência (*merging point*) em direção ao CN (5a). Duas são as conseqüências dessa mudança de caminho: (i) a reserva sobre o novo caminho pode falhar e (ii) pode levar mais tempo para ser estabelecida. Entretanto, se um túnel reverso é estabelecido do agente estrangeiro até o agente local, o FA será o único enviando mensagens *Path* no túnel (5b) e o HA o único enviando mensagens *Resv* (6b). Esses dois casos são ilustrados na Figura 2.14 através de dois rótulos distintos, “a” e “b”.

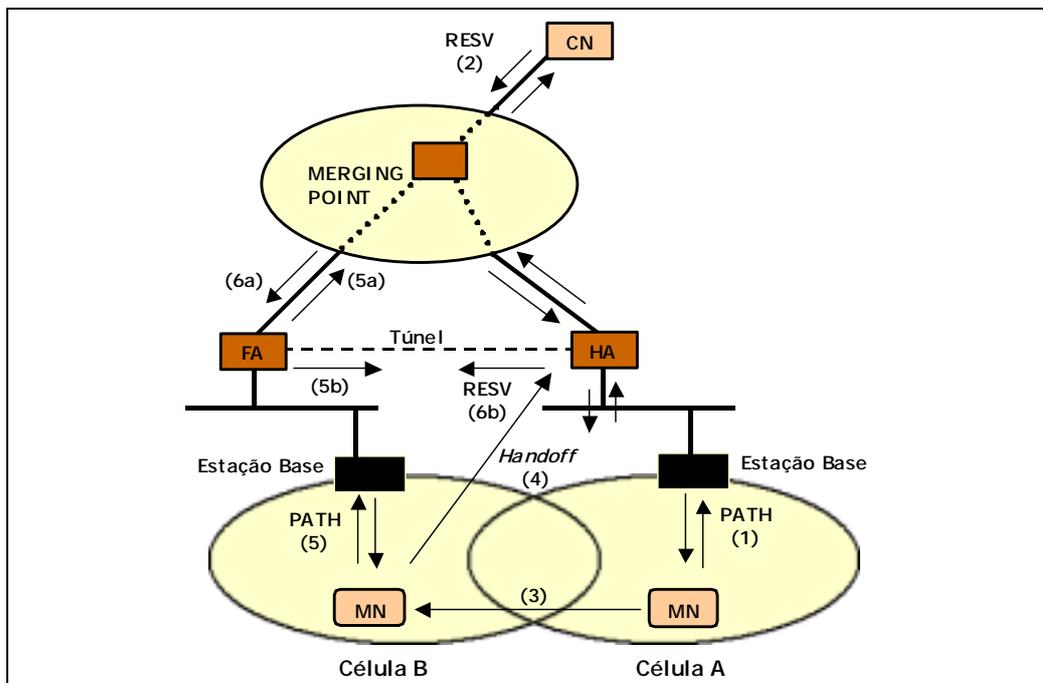


Figura 2.14 Funcionamento do protocolo com o nó móvel atuando como transmissor

O protocolo propõe o uso de túneis pré-configurados entre o agente local e o agente estrangeiro para reduzir a latência do estabelecimento da reserva durante o *handoff*. Entretanto, esse procedimento pode facilmente conduzir a uma situação na qual recursos valiosos sejam comprometidos desnecessariamente.

Como proposto na RFC 2344 (Montenegro, 1998), somente alguns dos pacotes enviados a partir do MN são encaminhados através do túnel reverso, mais especificamente aqueles pertencentes às sessões para as quais foram efetuadas reservas; os demais pacotes são roteados como tráfego regular. No trabalho de Terzis et al. (1999), esse *tunelamento seletivo* pode ser usado para rotear pacotes pertencentes às sessões reservadas sobre o túnel, enquanto o resto dos pacotes do MN deve ser roteado da forma usual.

Os exemplos descritos nesta subseção ilustram um cenário *unicast*, mas os autores do trabalho também tratam cenários *multicast* propondo algumas adaptações ao que foi apresentado.

2.2.4 SUPORTE À MOBILIDADE EM ARQUITETURAS DIFFSERV

Da forma como foi proposto, o *DiffServ* (*Differentiated Services*) (Blake et al., 1998) não é capaz de tratar a mobilidade do usuário. Para solucionar esse problema, foi apresentada uma nova arquitetura (Braun et al., 1999), baseada na proposta tradicional do *diffserv* (Figura 2.15).

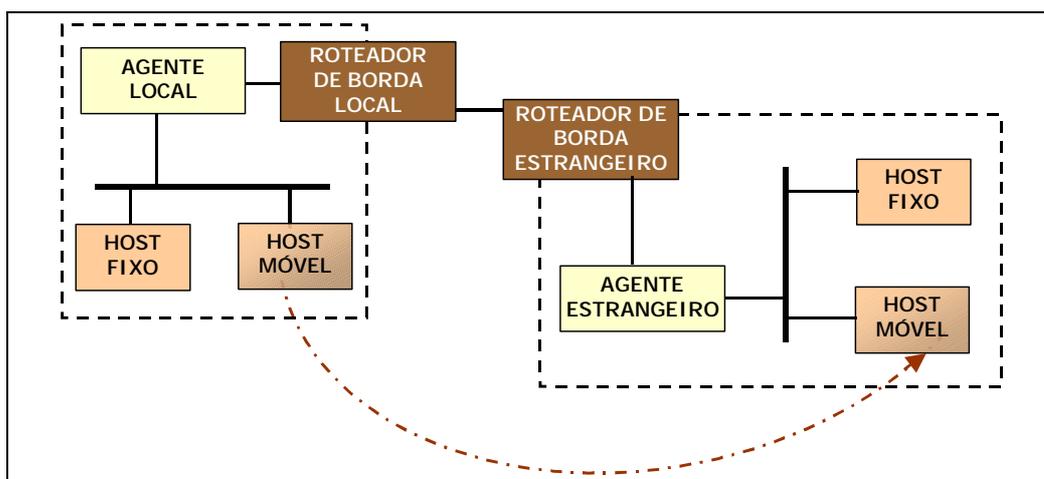


Figura 2.15 Arquitetura de serviços diferenciados móveis

Dentre os poucos termos apresentados, temos o *domínio local*, que é o domínio no qual o nó móvel contrata o serviço desejado e o utiliza inicialmente. O protocolo

IP Móvel foi adotado para oferecer suporte à mobilidade no *diffserv*. Com a aplicação desse mecanismo, novas funcionalidades tornam-se necessárias nos roteadores de fronteira. Uma das questões observadas com a adoção do IP Móvel é que são requeridas funções diferentes de acordo com a localização de seus agentes de mobilidade, caso se situem ou não em um roteador de fronteira *diffserv*.

2.2.4.1 ARQUITETURA DIFFSERV MÓVEL

Os dois principais componentes introduzidos por essa arquitetura são o *roteador de borda local* e o *roteador de borda estrangeiro*. Esses roteadores têm uma dupla responsabilidade: (i) atuar como roteadores de borda para um domínio *diffserv* ou não *diffserv* e (ii) atuar como agentes de mobilidade para um nó móvel ou para um nó que conheça o endereço do agente de mobilidade do nó móvel naquele domínio. Por exemplo, se um domínio estrangeiro é um domínio *diffserv*, o roteador de borda estrangeiro fará o condicionamento do tráfego e a agregação dos fluxos para os pacotes oriundos do domínio local. Além disso, ele atuará como agente estrangeiro ou transmitirá os pacotes através de um conjunto de nós intermediários.

Nessa proposta, os autores modificaram a *mensagem de solicitação de registro* do IP Móvel para incluir dois novos campos e um novo *flag*. Os novos campos propostos são o *endereço do roteador de borda local* e o *endereço do roteador de borda estrangeiro*. O flag adicional é o flag N. Se N está marcado, ele indica que o agente estrangeiro solicita a negociação de um SLA (*Service Level Agreement*) entre o roteador de borda local e o roteador de borda estrangeiro. O formato da nova mensagem de registro do IP Móvel é apresentado na Figura 2.16; os novos campos estão representados em cinza.

Assume-se que os agentes de mobilidade são configurados manualmente com os endereços IP dos roteadores de borda correspondentes aos seus domínios. Cada domínio pode ter mais do que um roteador de borda. O funcionamento do protocolo é apresentado a seguir:

Enquanto um nó móvel estiver em uma sessão com um nó correspondente, ele pode se mover para uma nova localidade dentro de seu domínio local ou para uma nova localidade em um domínio estrangeiro, como representado na Figura 2.15.

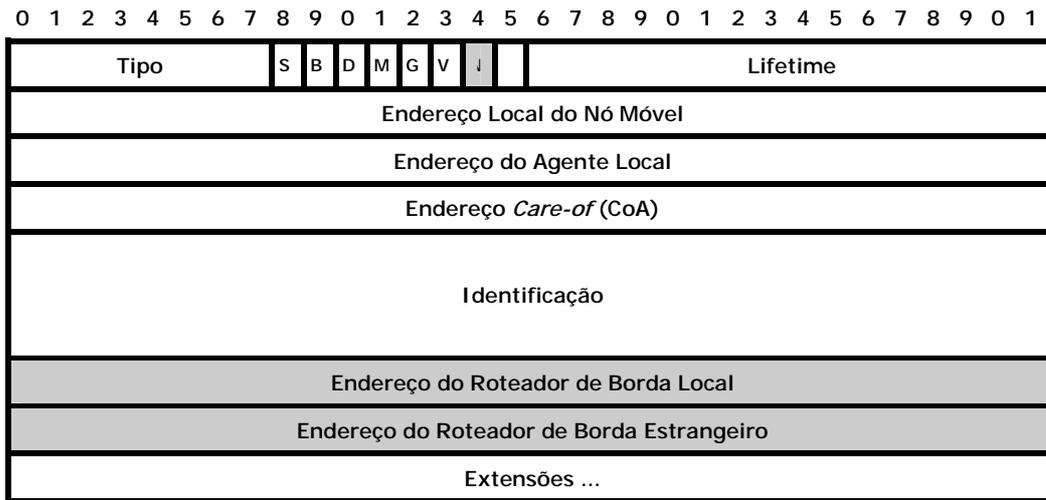


Figura 2.16 Formato do pacote de pedido de registro modificado

Caso I: *O nó móvel se desloca para uma nova localidade em seu domínio local.*

O nó móvel tentará se registrar novamente com o seu novo agente naquela localidade. Então, ele enviará o pedido de registro do IP Móvel com o flag N acionado e o endereço do seu roteador de borda local. Um agente de mobilidade no mesmo domínio irá receber essa mensagem e verificar o endereço do roteador de borda que o nó móvel enviou em seu pedido, comparando o endereço enviado pelo nó móvel com uma lista pré-configurada manualmente. Caso o agente de mobilidade tenha conhecimento dos endereços de todos os roteadores de borda no seu domínio, ele será capaz de dizer que o nó móvel se deslocou dentro do seu próprio domínio e enviará o pedido de registro diretamente para o HA do nó móvel. O HA irá então negociar sem dificuldades a QoS que foi solicitada pelo nó móvel junto ao FA, como se estivesse no mesmo domínio.

Caso II: *O nó móvel se desloca para uma nova localidade em uma rede estrangeira.*

O nó móvel envia um pedido de registro ao FA. O FA não encontra o endereço do roteador de borda que foi enviado pelo nó móvel em sua lista, então conclui que o nó móvel não pertence ao seu domínio. O FA encaminha o pedido de registro para o roteador de borda estrangeiro, cujo endereço ele conhece, marcando o flag N. O roteador de borda estrangeiro envia essa mensagem para o endereço do roteador de borda local do nó móvel, informado no pedido de registro.

Logo a seguir, o roteador de borda local dá início à negociação da QoS solicitada inicialmente pelo nó móvel. O roteador de borda local determina, a partir

do pedido de registro, se o nó móvel pertence, com certeza, à sua rede. Então, ele envia o perfil de tráfego solicitado pelo MN para o roteador de borda estrangeiro que encaminhou o pedido de registro e este decide se possui os recursos para oferecer a garantia de serviço demandada. Se decide aceitar, ele responde ao roteador de borda local com uma mensagem ACK. Esse mecanismo de confirmação é outra característica adicionada ao IP Móvel. Se, por outro lado, não for possível fornecer a garantia de serviço solicitada, então ele envia uma mensagem NACK ao roteador de borda local e o nó móvel recebe o serviço de melhor esforço na rede estrangeira.

2.2.5 ESQUEMA PROPOSTO PARA ARQUITETURAS INTSERV-DIFFSERV MÓVEIS

Uma nova abordagem foi proposta por Chugh (2000) como extensão ao esquema híbrido de operação dos serviços integrados sobre redes *diffserv* (Bernet et al., 2000), tendo como objetivo garantir a provisão de QoS às estações móveis. Esta abordagem permite que os MNs, em uma rede utilizando o protocolo IP Móvel, possam demandar QoS sobre uma WAN (*Wide Area Network*). Esse esquema é uma técnica escalável de provisão de QoS fim-a-fim e está ilustrado na Figura 2.17.

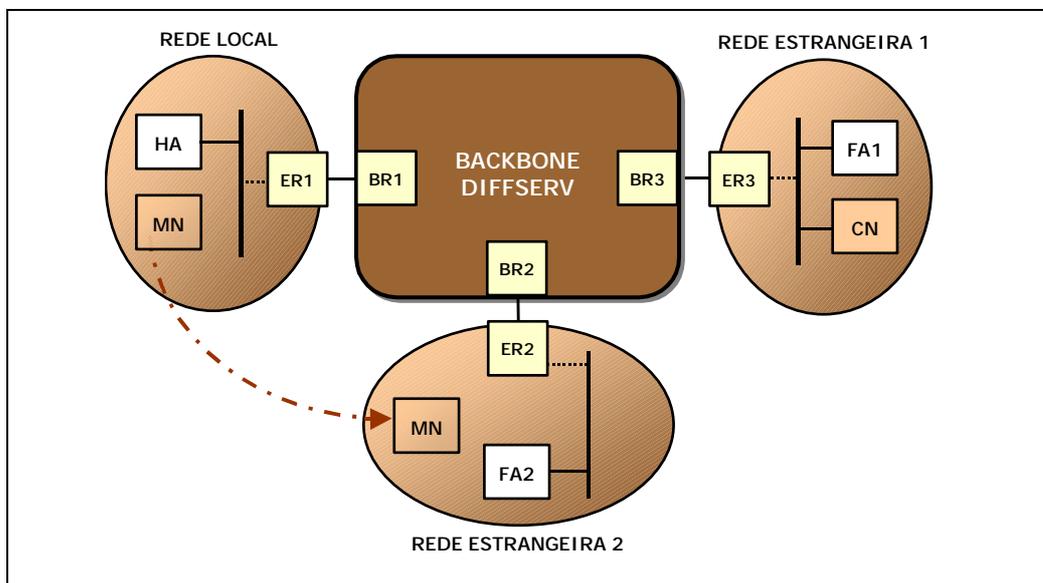


Figura 2.17 Arquitetura híbrida proposta para serviços *IntServ-DiffServ* móveis

A arquitetura exemplificada consiste de um *backbone diffserv*, uma rede local e duas redes estrangeiras, sendo que as três últimas não apresentam funcionalidades *diffserv*. Todo o tráfego deve passar através dos roteadores *diffserv*. Assume-se que o MN esteja em uma sessão com um CN em uma rede estrangeira 1 e decide se mover

para uma nova localidade. Como ilustra a Figura 2.17, ele se desloca para a rede estrangeira 2, onde precisa se registrar com o agente estrangeiro FA2¹⁹.

Assume-se, nesse exemplo, que a rede local e as redes estrangeiras sejam domínios *intserv* usando RSVP como mecanismo de sinalização. Há um *backbone* de rede que provavelmente tem agentes de mobilidade (FA1, FA2 e HA). Há também os roteadores de borda (ER1, ER2 e ER3) que estão diretamente conectados ao *backbone* ou estão a alguma distância dele.

2.2.5.1 OPERAÇÃO

A seqüência de etapas envolvidas no processo de manutenção da QoS, quando um nó móvel se desloca entre diferentes domínios, será descrita a seguir, tomando como exemplo a Figura 2.17. O funcionamento desse mecanismo se baseia na suposição de que cada agente de mobilidade conhece todos os endereços IP dos roteadores de borda em seu domínio e é pré-configurado com uma lista contendo esses endereços.

- Registro no IP Móvel:
 - Ao detectar o seu deslocamento (através de anúncios do FA2), o MN tenta registrar o seu endereço *care-of*, recentemente adquirido junto ao agente estrangeiro (FA2), enviando uma *mensagem de pedido de registro* que contém o endereço do seu roteador de borda local.
 - Junto com a mensagem de pedido de registro, o MN emitirá uma mensagem *Path* solicitando a qualidade de serviço anteriormente negociada junto ao CN. A mensagem de caminho também contém os campos *endereço do roteador de borda local* e *endereço do roteador de borda estrangeiro* como no datagrama IP.
 - O endereço do roteador de borda local do MN é enviado com a mensagem de pedido de registro. O FA2 compara o endereço do roteador de borda local com a lista de endereços de roteadores de borda

¹⁹ A mensagem de registro do IP Móvel é utilizada com as modificações apresentadas na Seção 2.2.4.1.

que ele possui e deduz que o MN pertence a uma rede diferente da sua. Se, por outro lado, o endereço do roteador de borda for compatível com um endereço em sua lista, o FA2 irá inferir que o MN pertence à sua própria rede e encaminhará o pedido de registro diretamente para o agente local. O FA2 encaminha o pedido de registro a um de seus roteadores de borda. O agente estrangeiro marca o flag N no datagrama IP para indicar que ele está solicitando a negociação de um contrato de serviço entre o roteador de borda local e o roteador de borda estrangeiro.

- O roteador de borda estrangeiro irá enviar essa mensagem de forma transparente através do *backbone diffserv* em direção ao roteador de borda local, o qual a enviará para o agente local correspondente, como especificado no pedido.
- Enquanto isso é feito, o MN enviará uma mensagem RSVP *Path* para o roteador de borda da rede onde está o CN (ER3). O MN conhece o endereço do ER3, já que mantinha uma sessão com o CN antes do seu deslocamento. A mensagem de caminho é enviada inicialmente para o FA2, que aplica o padrão de processamento RSVP/*intserv*, e o estado de caminho é estabelecido. No ER2, a mensagem *Path* é passada para o padrão de processamento RSVP e o estado de caminho é estabelecido no roteador.
- Nesse momento, surgem duas situações possíveis:
 - o roteador de fronteira do domínio *diffserv* (BR2), assim como os outros nós internos, não oferece suporte ao protocolo de sinalização RSVP;
 - o roteador de fronteira do domínio *diffserv* (BR2), assim como os outros nós internos, oferece suporte ao protocolo de sinalização RSVP.

Dependendo da situação, são adotados os seguintes procedimentos:

Caso I: *O BR e os outros nós internos oferecem suporte ao RSVP*

- Nesse caso, a mensagem *Path* é ignorada pelos roteadores no domínio *diffserv* e processada no roteador ER3 de acordo com as regras do padrão de processamento.
- Quando uma mensagem *Path* alcança o CN, o sistema operacional gera uma mensagem *Resv*, indicando interesse no contrato da QoS oferecida pelo nó móvel.
- A mensagem *Resv* é transportada de modo transparente através do *backbone diffserv* e as regras do padrão de processamento são aplicadas através do caminho pelos nós que oferecem suporte à sinalização RSVP. Em qualquer ponto do caminho, um nó pode rejeitar a solicitação de reserva devido à ausência de recursos disponíveis.
- Uma vez que a mensagem *Resv* alcance o nó ER2, ela dispara o processamento do controle de admissão. O roteador ER1 é pré-configurado com o nível de serviço da rede *diffserv*. Existe ainda um mecanismo interno para traduzir ou mapear o serviço garantido *intserv* em um correspondente *diffserv* DSCP (*Differentiated Service Code Point*). O ER2, dessa forma, compara os recursos solicitados no pedido RSVP/*intserv* com os recursos disponíveis na rede *diffserv*. Se há recursos suficientes na região *diffserv*, então o ER2 aceita a reserva; caso contrário ele a rejeita. Portanto, pode-se observar que o roteador de borda no domínio *intserv* atua como se fosse um agente de controle de admissão para o domínio *diffserv*. Ao aceitar a reserva solicitada, ele irá encaminhar a mensagem *Resv* para o MN junto com o valor DSCP mapeado.
- O MN saberá agora que o seu pedido de reserva foi aceito. Ele irá marcar os datagramas que saem com o correspondente DSCP fornecido pelo ER2, de modo que os pacotes não encontrem degradação de serviço no domínio *diffserv*. A marcação do pacote pode também ser feita no ER2, enquanto os pacotes são deixados no domínio *intserv*. Entretanto, esse método é menos escalável à medida que envolve uma carga adicional de configuração desses roteadores para que eles possam dar suporte à marcação de pacotes. Eles

serão executados no modo promíscuo, em suas portas de saída, para verificar o estado *per-flow* de cada fluxo, marcando os pacotes da forma adequada. Este esquema se torna menos escalável à medida que o número de fluxos aumenta. Então, a marcação de pacotes fica restrita à origem dos fluxos, que é uma opção mais escalável.

Um esquema semelhante pode tratar somente SLAs estáticos e que também não exijam uma grande utilização de recursos no domínio *diffserv*. Esse mecanismo não suporta mudanças dinâmicas nos SLAs.

Caso II: *Os roteadores de borda e os outros nós internos não oferecem suporte ao RSVP*

Nesse caso, o ER2 do domínio *intserv* não tem que atuar como agente de controle de admissão para o domínio *diffserv*. Apesar dos roteadores de borda apresentarem funcionalidades RSVP, eles ainda classificam e escalonam o tráfego agregado com base no DSCP, como faziam anteriormente.

Esta abordagem aproveita os benefícios da sinalização RSVP e ainda mantém a escalabilidade característica do *diffserv*. A principal vantagem deste esquema é que as alterações nos recursos disponíveis no domínio *diffserv* podem ser informadas à rede *intserv* através da sinalização RSVP. Este esquema também pode usar o protocolo BB (*Bandwidth Broker*) para anunciar os recursos do domínio *diffserv* aos roteadores de borda *intserv*.

Há algumas questões que precisam ser resolvidas antes que esse esquema possa ser colocado em uso, como o mapeamento do serviço *intserv* para um correspondente DSCP de modo a percorrer um domínio *diffserv* sem qualquer degradação de serviço. Essa característica deve ser embutida no roteador de borda que executa o controle de admissão em benefício do domínio *diffserv*. Deve haver também um mecanismo através do qual o roteador de borda do domínio *intserv* possa ser mantido atualizado a respeito da disponibilidade de recursos do domínio *diffserv*. Essa tarefa deve ser facilitada pelo uso do RSVP como um mecanismo de sinalização entre os domínios *diffserv* e *intserv*.

2.2.6 M-YESSIR

Para atender aos requisitos de QoS das aplicações de tempo real, surgiu a necessidade de se minimizar a complexidade de implementação e o retardo gerado pelos protocolos de reserva existentes. Em resposta a essas necessidades, Pan & Schulzrinc (1998) propuseram um protocolo de reserva mais simples, o YESSIR. Podemos citar como objetivo principal desse projeto o oferecimento de uma maior confiabilidade e robustez ao mecanismo de reserva, minimizando a complexidade do processo de sinalização. Por ser orientado ao transmissor e *in-band* (ou seja, as mensagens do protocolo são transmitidas nos pacotes de dados), a latência do estabelecimento de reservas durante o período de *handoff* pode ser significativamente menor do que a observada, por exemplo, no RSVP. Com o objetivo de cobrir as necessidades específicas das aplicações móveis, que não foram abordadas na proposta inicial, foi apresentada uma extensão ao YESSIR denominada M-YESSIR (*Mobile YEt another Sender Session Internet Reservation*), que será o foco desta subseção.

De modo semelhante ao trabalho apresentado na Subseção 2.2.3, no M-YESSIR (Khosravi et al., 2001) são propostas modificações ao IP Móvel para a detecção do suporte à QoS em ambientes móveis, o que implica na adição de um bit “Q” nas solicitações de *descoberta de agente e registro*, indicando que o endereço *care-of* pode tratar as requisições de QoS e, conseqüentemente, que o agente local pode então encaminhá-las. Outro aspecto a ser observado é a utilização de um mecanismo similar ao proposto por Terzis et al. (2000) para garantir a QoS nos túneis RSVP entre o agente local e o agente estrangeiro, ou o nó móvel (caso este possua um endereço *care-of co-located*).

No M-YESSIR os autores propõem que na especificação do fluxo sejam incluídos os valores máximo e mínimo referentes a largura de banda requisitada pela aplicação. O mecanismo de admissão de fluxos gerencia a alocação da largura de banda com base na disponibilidade da mesma e na especificação dos fluxos reservados. O mecanismo de controle de admissão adotado é o M-CAC (*Mobile Call Admission Control*) (Reininger & Izmailov, 1999).

No cenário representado pela Figura 2.18, o nó móvel envia uma mensagem SR (*RTCP Sender Report*) ao longo do caminho para iniciar o estabelecimento de uma nova reserva. A reserva efetuada no caminho anterior pode expirar ou, ainda, uma

mensagem explícita de cancelamento pode ser enviada para o agente estrangeiro anterior.

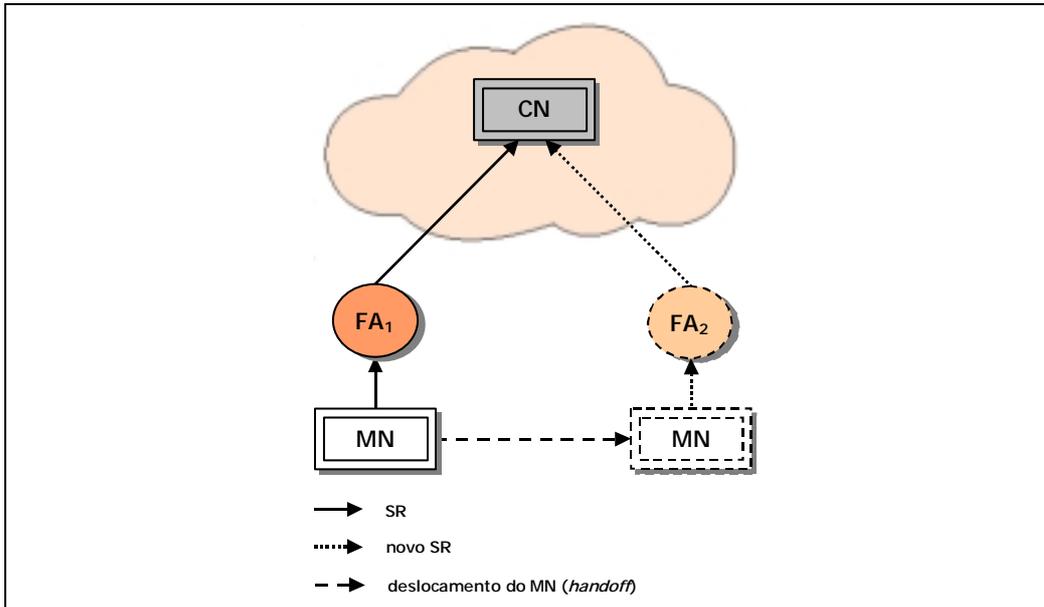


Figura 2.18 Mensagens de reserva durante o *handoff*: nó móvel como transmissor

No cenário ilustrado na Figura 2.19, o agente local do nó móvel irá enviar uma mensagem de reserva ao longo do novo caminho no momento em que o nó móvel registrar um novo endereço *care-of* com o bit “Q” ativado. O uso do agente local para efetuar a reserva até a nova localidade visitada pelo nó móvel reduz o caminho através do qual a reserva precisa ser restabelecida.

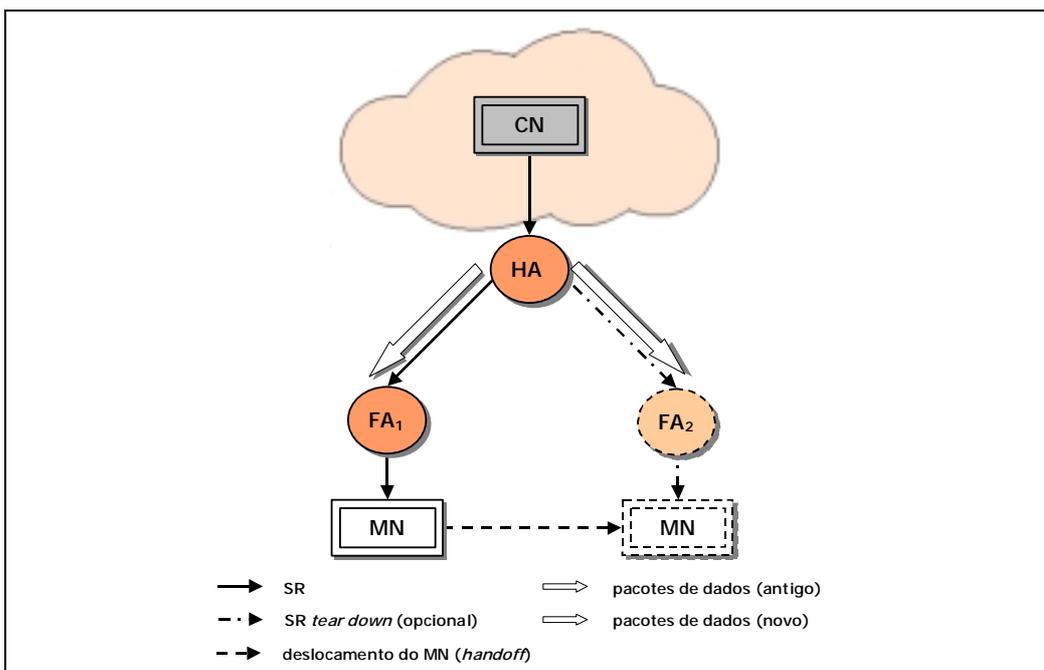


Figura 2.19 Mensagens de reserva durante o *handoff*: nó móvel como receptor

O agente local pode, opcionalmente, enviar uma mensagem explícita de cancelamento no formato de um SR com o *flag* “*reservation tear-down*” ativado, de modo que o agente estrangeiro anterior remova a reserva no túnel antigo. Esse pacote deve ser descartado pelo agente estrangeiro anterior, não podendo ser encaminhado para o agente local.

Deve-se ressaltar que o YESSIR é um protocolo de reserva limitado ao tráfego RTP e que não oferece suporte à comutação de rótulos e às redes *diffserv*. Esse protocolo oferece suporte às reservas fim-a-fim, utilizando o conceito de *reservas parciais*²⁰, as quais são efetuadas quando não há recursos suficientes nos roteadores. Entretanto, em tais casos, o YESSIR simplesmente informa à origem que a largura de banda é insuficiente e transfere para a estação final o problema de decidir se a largura de banda solicitada deve ser reduzida ou se todo o fluxo deve ser descartado. O YESSIR não oferece garantias fim-a-fim, já que utiliza o conceito de *reservas parciais*. O resultado da utilização dessas reservas é um grande número de fluxos de qualidade inadequada, como mencionado pelos próprios autores, o que é inaceitável ao se oferecer garantias de QoS. Essas observações se estendem ao M-YESSIR, já que é uma extensão do YESSIR.

2.3 AVALIANDO OS PROTOCOLOS PARA PROVISÃO DE QoS EM REDES MÓVEIS SEM FIO

A presente seção tem por objetivo, mediante os conceitos introduzidos na Seção 2.1, avaliar os trabalhos apresentados na Seção 2.2. A Tabela 2.3 traz de forma sintética o resultado dessa avaliação.

Os protocolos apresentados na Tabela 2.3 são extensões propostas ao protocolo RSVP, tendo como exceção o M-YESSIR que foi desenvolvido como uma extensão ao YESSIR com a finalidade de cobrir as necessidades introduzidas pelas redes móveis.

²⁰ Reservas parciais são aquelas nas quais um fluxo fim-a-fim pode ser composto por segmentos nos quais algum tipo de reserva foi efetuado e segmentos nos quais se aplica o melhor esforço.

CONCEITOS	MRSVP	MQoSP	Terzis ²¹	DiffServ ²²	IntServ/ DiffServ ²³	M-YESSIR
Protocolo de Reserva	Extensões propostas ao RSVP					Extensão ao YESSIR
Encaminhamento de Pacotes	Tem como base o IP Móvel					
Mobilidade	Faz reserva antecipada utilizando o conceito de reservas ativas e passivas	Faz reserva antecipada com base em parâmetros temporais	Faz reserva nos túneis entre os agentes de mobilidade do IP Móvel	Faz novas reservas durante o <i>handoff</i> através de negociações entre os agentes de mobilidade e os roteadores de borda		Faz novas reservas durante o <i>handoff</i> através de mensagens SR
Predição da Mobilidade	Utiliza arquivos contendo a especificação de mobilidade dos nós		Os túneis entre os agentes de mobilidade podem ser pré-configurados	Não é utilizado nenhum critério de predição. Conforme os nós se deslocam, durante o processo de <i>handoff</i> , novas reservas são efetuadas		
Categorias de Serviço	Introduz três classes de serviço: MIG, MIP e MDP	Compatível com as classes de serviço definidas pela arquitetura <i>intserv</i> : carga controlada e serviço garantido		Compatível com as classes de serviço admitidas pelo <i>diffserv</i>	Compatível com as classes de serviço do <i>intserv</i> e <i>diffserv</i>	Compatível com as classes de serviço definidas pelo <i>intserv</i>
Controle de Admissão	Considera as reservas passivas e ativas na admissão de novos fluxos	Considera os parâmetros temporais na admissão de novos fluxos	Abordagem tradicional			Propõe a utilização do M-CAC e valores máximos e mínimos de largura de banda

Tabela 2.3 Avaliando os protocolos para provisão de QoS em redes móveis

Como pode ser observado, uma característica comum aos trabalhos avaliados é a utilização do IP Móvel para garantir o *encaminhamento de pacotes* em ambientes móveis. Para oferecer suporte à *mobilidade*, garantindo além da continuidade das comunicações a manutenção da QoS negociada, os recursos devem ser reservados em cada localidade visitada pelo nó durante o período que durar a comunicação. Os protocolos MRSVP e MQoSP propõem o estabelecimento de reservas antecipadas

²¹ Protocolo simples para reserva de recursos em redes móveis (Terzis et al., 1999).

²² Protocolo para provisão de QoS com suporte à mobilidade em arquiteturas *diffserv* (Braun et al., 1999).

²³ Esquema proposto para provisão de QoS com suporte à mobilidade em arquiteturas *intserv-diffserv* (Chugh, 2000).

em cada localidade contida na especificação de mobilidade do nó, estabelecendo-se reservas ao longo de todo o novo caminho. O protocolo definido por Terzis indica a possibilidade de se efetuar reservas antecipadas pela pré-configuração dos túneis entre os agentes de mobilidade. As demais propostas não fazem pré-alocação de recursos, quando o agente de mobilidade do nó toma conhecimento do seu deslocamento ele tenta negociar a mesma QoS para o novo caminho.

Para que as localidades visitadas pelo nó móvel durante o tempo que durar a sua comunicação sejam conhecidas de antemão é necessário a utilização de algum critério de *predição da mobilidade*. Como se pode observar na Tabela 2.3, nenhuma das propostas apresentadas utiliza de fato uma estratégia de predição, no caso, por exemplo, do M-YESSIR o mecanismo de controle de admissão (M-CAC) faz cálculos probabilísticos em função de estatísticas sobre um possível trajeto do nó para decidir sobre a admissão ou não dos fluxos, entretanto essa informação não é considerada uma “predição” e reservas antecipadas não são estabelecidas em função do resultado obtido. Das propostas que tratam o estabelecimento de reservas antecipadas, o MRSVP e o MQoSP consideram a existência de um arquivo de especificação de mobilidade, sem que o processo de predição tenha sido alvo de investigação; o protocolo proposto por Terzis (1999) sugere a pré-configuração de túneis entre os agentes de mobilidade local e estrangeiro, entretanto não define como a próxima rede estrangeira visitada pelo nó pode ser predita.

Dentre os protocolos considerados, o MRSVP é o único que adiciona novas *categorias de serviço* (MIG, MIP e MDP), provenientes dos serviços garantido e preditivo; os demais se adequam as categorias definidas nas arquiteturas *intserv* e *diffserv*.

O *controle de admissão* recebe um tratamento diferenciado nos protocolos MRSVP, MQoSP e M-YESSIR. No primeiro um processamento adicional é necessário para tratar as reservas ativas e passivas. No segundo um algoritmo mais complexo é exigido para fazer a admissão dos fluxos em função do tempo, avaliando a disponibilidade dos recursos dado o instante em que eles serão utilizados e o período de duração da reserva. O terceiro protocolo propõe a utilização do M-CAC e a adoção de valores máximos e mínimos para a especificação da largura de banda requerida pela aplicação. O M-CAC define de forma estatística as células nas quais os recursos devem ser requisitados a partir de informações armazenadas nas estações

base (taxas de *handoffs* entre células, chegadas e partidas), calculando o tempo de permanência do nó nas células que compõem o seu trajeto, o qual é definido como um modelo de Markov (Reininger & Izmailov, 1999). Todos esses dados são então utilizados para determinar de um modo probabilístico se um determinado fluxo será ou não admitido.

2.4 SUMÁRIO

Este capítulo apresentou os mecanismos envolvidos na provisão de QoS em ambientes móveis sem fio, como o IP Móvel, o protocolo de sinalização RSVP, o conceito de reservas antecipadas e o gerenciamento de mobilidade. Na Seção 2.2, foram descritas algumas propostas apresentadas na literatura que vêm fazendo uso dessas técnicas. Através desses trabalhos, ilustrou-se como vem sendo conduzida a pesquisa relacionada à provisão de QoS em redes móveis sem fio.

A Seção 2.2 trouxe alguns novos protocolos que foram propostos como extensões ao RSVP, utilizando o mecanismo de encaminhamento de pacotes descrito no IP Móvel, como o MRSVP, o MQoSP e o protocolo de reserva de recursos para nós móveis proposto por Terzis et al. Outros trabalhos procuraram adaptar os esquemas de reserva já existentes, propostos para o *intserv* e o *diffserv*, de modo a oferecer suporte à mobilidade.

Como podemos observar, essas propostas se adequam bem às redes móveis infra-estruturadas, utilizando a figura de agentes de mobilidade que se adaptam ao conceito de estações base definido nas mesmas. Outro fator que confirma essa observação é a utilização do protocolo de sinalização RSVP, o qual, de certo modo, sobrecarrega o enlace sem fio com a constante troca de mensagens entre transmissor e receptor. O M-YESSIR, que foi apresentado na Subseção 2.2.6, propõe um protocolo mais leve para garantir a provisão de QoS em redes que oferecem suporte ao IP Móvel.

Em redes *ad hoc*, devido a fatores como o dinamismo da topologia e a imprecisão das informações referentes ao estado da rede, é necessário minimizar a complexidade de implementação dos protocolos de reserva existentes. A troca de informações entre transmissor e receptor deve ser reduzida, de modo a diminuir as altas taxas de retardo geradas. Uma tendência que tem sido observada nos trabalhos

mais recentes é a adoção de extensões ao protocolo COPS, como o COPS-SLS (*Common Open Policy Service Protocol - Service Level Specification*) (Nguyen et al., 2002), com algumas adaptações, para oferecer suporte à negociação de QoS nas redes *ad hoc*.

Nas propostas apresentadas, alguns dos mecanismos de provisão consideram a existência de um arquivo de especificação de mobilidade, com informações sobre as localidades em que se deveria efetuar reservas antecipadas (Talukdar et al., 2001; Pajares et al., 1999), outros apenas estabelecem reservas quando o nó móvel efetua um *handoff*, tentando otimizar a utilização de recursos sem que reservas desnecessárias fossem efetuadas na rede (Terzis et al., 1999; Blake et al., 1998; Chugh, 2000; Khosravi et al., 2001). Em nenhum desses trabalhos houve a preocupação de se oferecer um mecanismo único que fizesse o gerenciamento e a predição da mobilidade do usuário em conjunto com o processo de reservas de recursos, oferecendo reservas antecipadas e imediatas.