

## 5 NOVA PROPOSTA DE TOLERÂNCIA À FALHA DOS AGENTES DE MOILIDADE

Neste capítulo será descrita uma nova a proposta de tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros e uma outra proposta para os Agentes de Origem, pois ambos os agentes possuem funcionalidades diferentes. Portanto, este capítulo foi dividido em duas seções. A primeira dedicada à explicação da nova proposta de tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros e a segunda dedicada à explicação da nova proposta para os Agentes de Origem.

A arquitetura de rede que será empregada na análise de nossa proposta de tolerância às falhas dos Agentes de Mobilidade (HA e FA) é ilustrada na figura 13 abaixo.

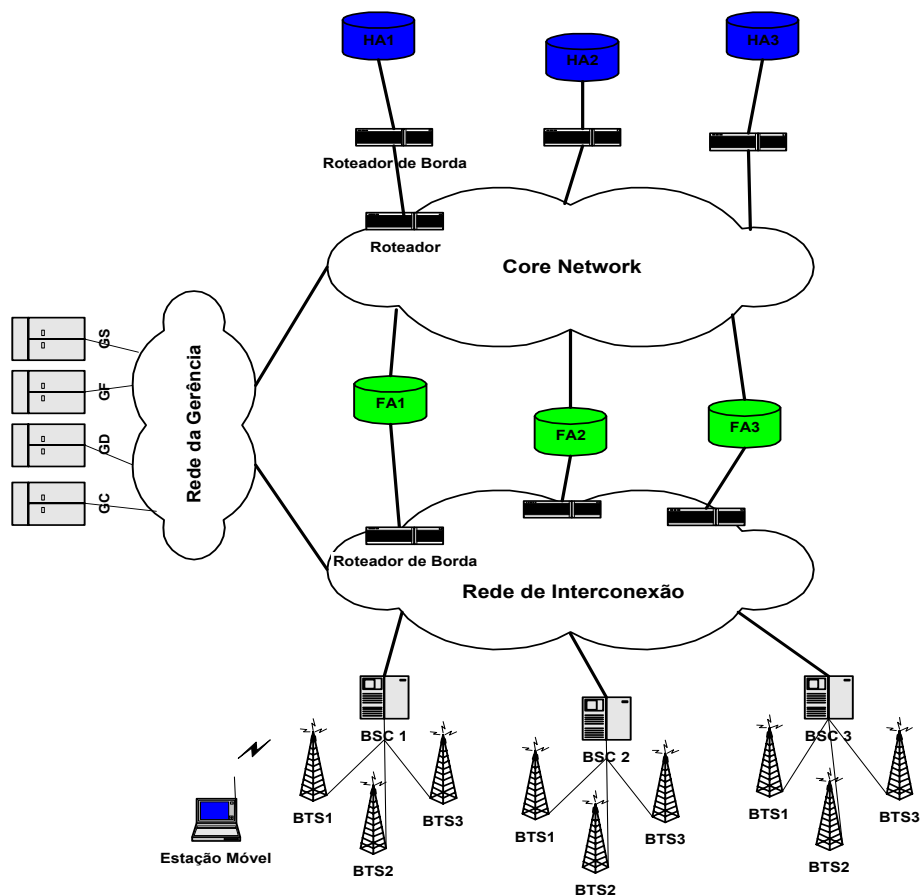


Figura 13 - Arquitetura de Rede.

Os Agentes de Origem (HAs) são roteadores da rede de origem dos usuários (estações móveis). Estes roteadores têm a função de “interceptar” e redirecionar os pacotes IP destinados os seus usuários. A identificação da localização destas estações móveis em outras redes, que não a sua de origem, é feita através dos endereços IP dos roteadores da rede onde as estações móveis estão localizadas, ou seja, os endereços IP dos Agentes Estrangeiros (FAs).

A exatidão na localização das estações móveis é devido aos periódicos procedimentos de registro dos usuários (estações móveis) com os seus respectivos roteadores da rede de origem. Isto é, o Agente Estrangeiro (FA) anuncia periodicamente a sua presença e a sua disponibilidade no oferecimento de suporte às conexões das estações móveis dentro da área de cobertura das Estações Bases (BSs) controladas por esse agente. Esses anúncios são feitos através dos envios destas mensagens para as Estações Bases (BSs) que estão sob seu controle. Cada Estação Base é formada por várias Estações Bases Transceptoras (BTS), que são equipamentos rádios transmissores e receptores, e por uma Estação Base Controladora (BSC), que é responsável pelo controle das operações das várias BTSs ligadas a ela e pela função de processamento de sinais. Portanto, aquelas mensagens de anúncios são transmitidas as estações móveis via rádio pelas Estações Bases Transceptoras.

A mensagem de anúncio recebida por uma estação móvel contém o endereço IP do agente anunciante (FA). Esse endereço IP será utilizado pela estação móvel para enviar uma solicitação de registro para o roteador da rede estrangeira (FA). Este FA ao receber e processar essa solicitação irá armazenar em sua lista de visitantes o endereço IP dessa estação móvel e em seguida redirecionará essa mensagem de solicitação de registro para o endereço IP do Agente de Origem (HA) da estação móvel.

Após o recebimento e o processamento da mensagem de solicitação de registro pelo HA, este concederá ou não o registro daquela estação móvel. Em seguida, esse Agente de Origem criará uma mensagem de resposta de registro que enviará para o endereço IP do Agente Estrangeiro. Este agente por sua vez receberá e redirecionará aquela mensagem de resposta para o endereço IP da estação móvel. Logicamente essa mensagem chegará a estação móvel do usuário via BS. Caso o Agente de Origem conceda o registro àquela estação móvel, este agente adicionará na sua lista de entradas a associação do endereço IP desta

estação com o endereço IP daquele Agente Estrangeiro. Essa lista de entrada com todas as associações de endereços IP que permitem a localização de cada estação móvel é chamada de Mobility Binding.

Então, todos os pacotes IP destinados a uma determinada estação móvel serão primeiro “interceptados” pelo Agente de Origem desta estação que em seguida localizará esta estação, verificando a sua lista de associações de endereços IP das estações móveis e dos Agentes Estrangeiros. Ao identificar a localização da estação móvel, o Agente de Origem irá encapsular esses pacotes IP dentro de outros pacotes IP e então redirecionará para o endereço IP do Agente Estrangeiro. Este FA ao receber esses pacotes IP terá que desencapsulá-los, consultar sua lista de visitantes e então redirecioná-los para a estação móvel desejada via BS.

O funcionamento do protocolo Mobile IPv4 descrito de forma detalhada até aqui e a possível ocorrência de falhas nos Agentes de Mobilidade, conduz ao raciocínio de se ter propostas adequadas de tolerâncias às falhas desses agentes, uma vez que, a falha em um ou mais Agentes de Mobilidade causa a interrupção temporária (até a finalização do reparo) dos serviços oferecidos aos usuários, caso não seja adotada nenhuma estratégia de combate a essas falhas.

A proposta de tolerância à falha dos Agentes de Mobilidade apresentada neste capítulo levará em consideração a existência de uma gerência de rede e a não utilização de redundâncias de hardwares como backup dos agentes que vierem a falhar. Ou seja, os membros de backup dos agentes defeituosos serão outros agentes do mesmo tipo (FA ou HA) que serão alocados dinamicamente e serão responsáveis por gerenciar uma porção da carga de tráfego dos agentes defeituosos. Os critérios para alocações desses membros de backup são basicamente a carga de tráfego de cada agente livre de falha no exato momento em que uma ou mais falhas ocorrerem e os retardos que os pacotes IP sofrem ao percorrerem vários links de diversos comprimentos e retardos até chegarem ao possível membro de backup selecionado. Com objetivo de assegurar que a carga de tráfego adicional que cada agente membro de backup gerenciará não degrade em demasia o desempenho desses agentes e, por conseguinte os serviços oferecidos aos usuários é importante que esses diferentes serviços recebam diferentes níveis de prioridades.

A gerência de rede coordenará todos os procedimentos para seleção dos membros de backup dos Agentes de Mobilidade defeituosos. Devido às várias

funções que essa gerência desempenhará podemos subdividi-la em quatro tipos de gerências:

**Gerência de Configuração (GC):** responsável por gerenciar e configurar os equipamentos de redes (HA, FA, roteadores do Core Network, BSC e BTS) bem como a rede de interconexão.

**Gerência de Desempenho (GD):** gerencia o desempenho dos equipamentos de redes citados acima, observando as cargas de tráfegos desses equipamentos e os retardos sofridos pelos pacotes de dados ao percorrerem diversos links.

**Gerência de Falha (GF):** responsável por detectar e informar a gerência de configuração a ocorrência de falhas nos equipamentos de redes.

**Gerência de Segurança (GS):** responsável por monitorar o correto acesso aos equipamentos de redes.

As próximas seções detalharão os procedimentos que serão adotados nas respectivas propostas dos diferentes Agentes de Mobilidade.

## **5.1. Tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros**

Após a falha de um ou mais Agentes Estrangeiros (FAs), a gerência de falha irá imediatamente detectar esta ocorrência. A detecção e a identificação dos agentes defeituosos por esta gerência será feita através de dois mecanismos básicos e complementares. No primeiro mecanismo de detecção e identificação, a gerência de falha constantemente monitora o funcionamento destes agentes através de pings disparados para os endereços IP desses agentes. O segundo mecanismo complementar utiliza o princípio de funcionamento do protocolo Mobile IPv4. Ou seja, as Estações Bases Controladoras (BSCs) devem receber periodicamente mensagens de anúncios que são enviadas pelos Agentes Estrangeiros com objetivo de que estas mensagens cheguem as estações móveis das áreas de cobertura das Estações Bases Transceptoras (BTS) controladas por sua BSC.

Como já foi visto no capítulo 2 onde foi abordada a funcionalidade do protocolo Mobile IPv4, a mensagem de anúncio contém o endereço IP do agente anunciante e vários flags. Estes flags servem tanto para informar as estações móveis quanto à necessidade delas efetuarem um novo processo de registro (flag

R), como anunciar que não aceitará mais nenhum registro adicional de novas estações móveis (flag B), bem como outras funções de controles. Portanto, qualquer que seja o estado do Agente Estrangeiro é preciso que este anuncie esse estado para que as BSs e conseqüentemente as estações móveis saibam se esse agente está ou não funcionando.

Segundo o Request for Comments 3220, é recomendado que o intervalo de tempo entre o envio de cada mensagem de anúncio seja menor que um terço do campo Lifetime definido nessa mensagem. Essa recomendação permite que as estações móveis tenham pelo menos três chances de ouvir as mensagens de anúncios antes de iniciarem os seus processos de registros com os seus respectivos roteadores da rede de origem via BS e FA. Portanto, o não recebimento da mensagem de anúncio pela BSC por um intervalo de tempo maior que um terço do campo Lifetime será interpretado por esta BSC que aquele determinado Agente Estrangeiro conectado a ela não está funcionando.

Após aquela BSC constatar que aquele FA não está funcionando, ela notificará a gerência de falha sobre tal acontecimento. Porém, a gerência de falha só terá a certeza que este Agente Estrangeiro não está funcionando quando tanto o mecanismo de ping e de “alerta” que essa BSC faz a essa gerência indicarem a possível falha daquele FA. Em seguida esta gerência contacta a gerência de desempenho para que esta última envie as suas informações de monitoramento sobre os parâmetros gerenciados por ela para a gerência de configuração. Esses parâmetros são basicamente: as informações de carga de tráfego de cada FA livre de falhas, a carga de tráfego de todos os links que conectam uma BSC a várias BTSs, os retardos de propagação que os pacotes de dados sofrem ao percorrerem os diversos links ativos participantes dos segmentos de rede que se estende das BTSs aos FAs livres de falhas e bem como o retardo de propagação introduzidos aos pacotes de dados ao trafegarem pelos diversos links que conectam um FA (livre de falha) aos possíveis destinos na rede fixa. Esse conjunto de informações será utilizado pela gerência de configuração para alocar dinamicamente os demais agentes livres de falha como membros de backup dos agentes defeituosos.

Logo após a criação dos membros de backup dos agentes defeituosos essa gerência enviará simultaneamente uma mensagem para todas as BSCs com intuito de ativar as suas novas configurações e conseqüentemente o funcionamento dos backups selecionados. Isto é, cada BSC receberá uma mensagem, exigindo que

seja feita a atualização de suas listas de FAs ativos conectados a elas. Então, os links que conectam cada BSC afetada pela falha do seu FA aos membros de backup dos agentes defeituosos serão ativados.

É importante deixar claro que, antes da ocorrência de qualquer tipo de falha dos Agentes Estrangeiros, cada BSC possui um link ativo conectado ao roteador de borda de um FA e vários outros links ativos conectados a várias BTSs. Após a ocorrência de falha no FA conectado a essa BSC através do roteador de borda desse agente defeituoso, esta BSC receberá informações que permitam que cada BTS controlada por esta BSC seja conectada a um outro FA (membro de backup) por intermédio da mesma BSC. Após a execução desse procedimento de configuração, a gerência de configuração envia simultaneamente uma mensagem para todos agentes membros de backup. Exigindo que este inicie o processo de registro através do envio de mensagens de anúncio para as áreas de coberturas das BTSs que foram afetadas pela falha do seu FA. Desta forma, será executado um procedimento de **“handoff virtual”**, pois embora as estações móveis permaneçam na mesma área de cobertura elas serão registradas em seus respectivos Agentes de Origem como estando em outro domínio, ou seja, com um novo endereço IP (endereço IP do FA membro de backup). Portanto, as cargas de tráfego dos agentes defeituosos serão divididas em porções menores e distribuídas não necessariamente de forma uniforme para todos os membros de backup, pois a carga de tráfego de cada FA livre de falha e os retardos dos links mencionados acima terão influências na alocação dos membros de backup.

A fim de evitar que a carga de tráfego adicional sobrecarregue os buffers dos Agentes Estrangeiros ativos membros de backup é proposto o emprego do algoritmo de enfileiramento Random Early Detection (RED) nos buffers desses agentes ativos. Esse algoritmo de enfileiramento foi escolhido em virtude de sua funcionalidade, ou seja, por monitorar o tamanho médio das filas dos buffers desses dispositivos de redes (roteadores) antecipando-se na detecção das possíveis sobrecargas que este buffer poderá sofrer.

Na subseção seguinte detalharemos como funcionarão os critérios de alocações desses Agentes Estrangeiros como membros de backup.

### 5.1.1. Critérios de alocações dos FAs como membro de backup

A gerência de desempenho monitora constantemente as cargas de tráfego de todos os equipamentos de redes ativos e os retardos de propagação que os pacotes de dados sofrem ao percorrerem os inúmeros links dessas redes. Como o foco da atenção desta seção está restrita ao funcionamento dos Agentes Estrangeiros ativos em presença de falhas de outros Agentes Estrangeiros, serão restringidas as análises das informações citadas acima aos Agentes Estrangeiros ativos.

Antes da apresentação de como estas informações são estruturadas pela gerência de desempenho, será definido o termo *BSC principal* que será empregado para o entendimento dessa estruturação. Este termo refere-se aquela única BSC que possui um caminho lógico ativo conectado ao roteador de borda de um FA antes que qualquer falha ocorra em um desses agentes. A figura 14 abaixo ilustra três BSC principais.

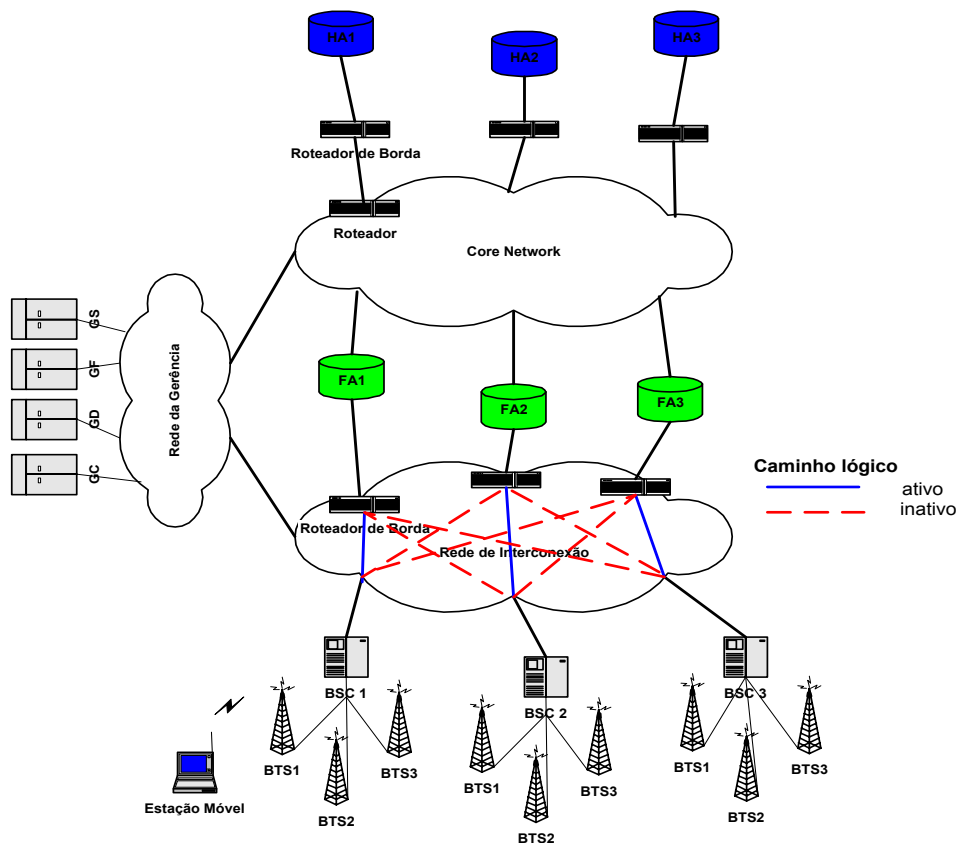


Figura 14 - Caminhos Lógicos.

Para cada Agente Estrangeiro ativo, a gerência de desempenho obtém as seguintes informações:

- a) O valor da largura de banda do link que conecta este FA ao seu roteador de borda, bem como a porção desta largura de banda que está sendo realmente consumida.
- b) A largura de banda que está sendo consumida em cada link que conecta uma BTS a sua BSC afetada pela falha do FA.
- c) O retardo médio que os pacotes de dados sofrem ao percorrerem diversos links que conectam um determinado FA ativo aos seus possíveis destinos na rede fixa. Esses destinos são os servidores de aplicações da rede fixa, Agentes de Origem e estações fixas que estão conectadas aos roteadores do Core Network.
- d) O retardo médio de propagação que os pacotes sofrem ao percorrerem vários links do caminho lógico que conecta cada BTS a este FA ativo.

Para o melhor entendimento de como essas informações são trabalhadas pela gerência de configuração será citado um simples exemplo. Seja uma arquitetura de rede composta por três HAs conectados aos seus respectivos roteadores de borda, um Core Network, três FAs também conectados aos seus respectivos roteadores de borda, uma rede de interconexão e três BSCs. Para cada BSC há três BTSs conectadas a elas. Supondo que o FA1 ilustrado na figura 15 abaixo venha a falhar. Então as informações dos demais FAs ativos serão estruturadas como mostram as tabelas 7 e 8.

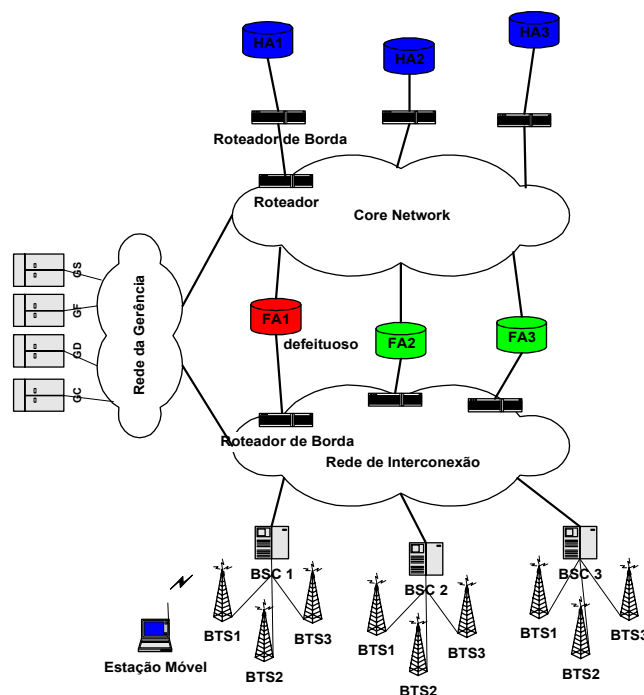


Figura 15 - Falha de um Agente Estrangeiro.



Tabela 7 - Valores para os parâmetros relativos ao FA2 ativo.

	Largura de Banda do Link (Mbit)	Largura de Banda Consumida (Mbit/s)	Retardo Médio (ms)
FA2 (endereço IP)	10,0	6,0	50,0
BTS1 da BSC1	-	1,0	20,0
BTS2 da BSC1	-	2,0	25,0
BTS3 da BSC1	-	1,5	20,0

Tabela 8 - Valores para os parâmetros relativos ao FA3 ativo.

	Largura de Banda do Link (Mbit/s)	Largura de Banda Consumida (Mbit/s)	Retardo Médio (ms)
FA3 (endereço IP)	10,0	3,5	80,0
BTS1 da BSC1	-	1,0	40,0
BTS2 da BSC1	-	2,0	45,0
BTS3 da BSC1	-	1,5	40,0

Para cada tabela ilustrada acima, é possível observar que o valor da largura de banda do link que conecta este FA a seu roteador de borda (Edge), bem como a porção desta largura de banda que está sendo realmente consumida (item a) são encontrados respectivamente nas interseções da linha que contém o endereço IP do FA ativo analisado com as colunas que informam a largura de banda do link e a largura de banda consumida neste mesmo link. A informação da largura de banda que está sendo consumida em cada link que conecta uma BTS a sua BSC afetada pela falha do FA (item b) é verificada pela interseção da linha daquela BTS com a coluna que informa a largura de banda consumida. O valor do retardo médio que os pacotes de dados sofrem ao percorrerem diversos links que conectam um determinado FA ativo aos seus possíveis destinos na rede fixa (item c) é extraído da interseção da linha que contém o endereço IP do FA ativo analisado com a coluna do retardo médio. E finalmente o valor do retardo médio de propagação que os pacotes sofrem ao percorrerem vários links do caminho lógico que conecta cada BTS a este FA ativo (item d) é extraído da interseção da linha dessa BTS com a coluna do retardo médio.

Em seguida a gerência de desempenho envia esse conjunto de informações estruturadas para a gerência de configuração. Esta gerência por sua vez processará esse conjunto de informações por meio de um software especial para que seja criada a lista de membros de backup dos FAs defeituosos. O software efetuará os seguintes procedimentos para determinação dos membros de backup:

**Primeiro Procedimento:** Para cada FA ativo será calculada a largura de banda disponível no link que conecta este agente a seu roteador de borda (Edge). Isso será feito subtraindo da largura de banda do link a largura de banda que é realmente consumida neste link. Após a determinação da largura de banda disponível em cada FA ativo será efetuada a soma entre o retardo médio do item c) e d) com objetivo de estimar o retardo médio total para cada BTS utilizando um determinado FA ativo (membro de backup). Em seguida, as informações de retardo médio total para cada BTS serão organizadas por ordem crescente. Durante a organização dos retardos das BTSs por ordem crescente pode ocorrer que duas ou mais BTSs possuam o mesmo valor de retardo, então dentre aquelas BTSs que possuem os mesmos valores de retardos será dada prioridade aquela BTS que possui uma maior carga de tráfego. Se mesmo assim ainda há BTSs com os mesmos valores para esses dois parâmetros a ordenação entre as mesmas poderá ser feita utilizando qualquer parâmetro atribuído pelo programador com intuito de diferencia-las, como número de identificação da BTS e de sua BSC ou o tempo que cada informação referente a esta BTS foi processada.

As informações da tabela 7 e 8 serão utilizadas para ilustrar a execução do procedimento descrito acima e os resultados dessa execução são ilustrados nas tabelas 9 e 10 abaixo.

Tabela 9 - Execução do primeiro passo empregando as informações relativas ao FA2 ativo.

	Largura de Banda Disponível (Mbit/s)	Retardo Médio Total (ms)
<b>FA2 (endereço IP)</b>	4,0	-
<b>BTS3 da BSC1</b>	-	70,0
<b>BTS1 da BSC1</b>	-	70,0
<b>BTS2 da BSC1</b>	-	75,0

Tabela 10 - Execução do primeiro passo empregando as informações relativas ao FA3 ativo.

	Largura de Banda Disponível (Mbit/s)	Retardo Médio Total (ms)
<b>FA3 (endereço IP)</b>	6,5	-
<b>BTS3 da BSC1</b>	-	120,0
<b>BTS1 da BSC1</b>	-	120,0
<b>BTS2 da BSC1</b>	-	125,0

Observe que BTS1 e BTS3 possuem o mesmo valor para o retardo médio total em ambas as tabelas acima, mas como a BTS3 possui uma maior carga de

tráfego em relação a BTS1 então foi dada a BTS3 a prioridade desta ocupar uma posição à frente nas listas (tabelas) que foram criadas.

O monitoramento da largura de banda consumida pode ser feito através da técnica EWMA (Exponential Weighted Moving Average), pois esta técnica permite levar em consideração os valores monitorados em instantes anteriores. Com isso, o monitoramento desse parâmetro torna-se mais justo do que observar apenas o valor desse parâmetro no instante em que uma falha ocorre [19].

**Segundo Procedimento:** Os FAs ativos que possuem os maiores valores de largura de banda disponíveis serão priorizados para receberem as cargas de tráfego dos FAs defeituosos. Portanto, esses FAs ativos serão organizados quanto a ordem decrescente dos valores da largura de banda disponível calculada no item anterior.

O resultado da execução deste procedimento empregando o exemplo em análise indicará que o FA3 terá uma prioridade maior no recebimento de uma porção da carga de tráfego do agente defeituoso. Contudo, o FA3 tornar-se-á realmente membro de backup daquele FA defeituoso se o segundo parâmetro de análise (retardo) também for satisfeito. Portanto, é preciso executar o terceiro procedimento.

**Terceiro Procedimento:** Para cada FA que possui o conjunto de informações ilustradas na tabela 9 ou 10 acima será comparado o retardo médio total para cada BTS com um determinado valor de limiar. O valor deste limiar poderá ser qualquer valor fixo entre 150 a 400ms. A razão para a seleção de um valor nesta faixa é motivada por ser a mesma aceitável para os serviços da classe conversacional de tempo real onde as exigências de retardos são mais rigorosas. Portanto, aquela BTS que possuem baixo retardo médio total terá prioridade para aquele FA. Então se sua carga de tráfego puder ser agregada à carga de tráfego já existente neste mesmo FA o seu caminho lógico será ativado. Em seguida as informações desta mesma BTS serão apagadas das demais listas de FAs ativos. Ainda no mesmo FA este procedimento deve ser executado até que a última BTS de sua lista seja atingida ou o que se atinja o valor da largura de banda disponível. Aquelas BTSs que possuírem retardos maiores do que esse limiar não poderão ter as suas cargas de tráfegos controlada por esse FA, provavelmente serão controladas por outros FAs. Portanto, a escolha do limiar de retardo é muito importante, pois dependendo do valor escolhido, esse algoritmo proposto poderá

fucionar analisando apenas um parâmetro (carga de tráfego livre nos FAs). Isto ocorrerá, caso o administrador de rede configure o parâmetro do retardo limiar com um valor muito grande.

Para efeito de exemplificação serão utilizados os valores da largura de banda consumidos em cada link que conecta uma BTS a sua respectiva BSC e que foram ilustrados nas tabelas 7 e 8. Como pode ser visto na tabela 11 a carga de tráfego da BTS3, da BTS1 e da BTS2 será direcionada para o FA3.

Tabela 11 - Alocações das BTSs para o FA3 ativo.

	Carga de Tráfego (Mbit/s) no momento da falha	Nova Carga de Tráfego (Mbit/s) no FA3 após a falha	Situação do Caminho Lógico entre a BTS e FA
FA3 (endereço IP)	3,5	8,0	-
BTS3 da BSC1	1,5	$3,5 + 1,5 = 5,0$	Será ativado
BTS1 da BSC1	1	$5,0 + 1,0 = 6,0$	Será ativado
BTS2 da BSC1	2	$6,0 + 2,0 = 8,0$	Será ativado

**Quarto Procedimento:** Caso o grupo de membros de backup com retardos médios totais menores que o valor de limiar de retardo não exista ou não seja suficiente para alocar todas as BTSs afetadas pela falha daqueles FAs deverão ser executados os procedimentos descrito no passo anterior nos possíveis membros de backup que possuem retardos médios totais maiores que o limiar de retardo. Portanto, o retardo médio limiar desse software será automaticamente reconfigurado para receber o valor do menor retardo que um dos Agentes Estrangeiros ativos (livres de falha) pode introduzir aos pacotes de dados caso este seja escolhido como membro de backup. Após a execução desta reconfiguração o terceiro procedimento será executado novamente, mas agora com o novo valor para o retardo limiar.

## 5.2. Tolerância à falha dos Agentes de Origem

O raciocínio empregado na elaboração da proposta de falha dos Agentes de Origem (HAs) é similar ao que foi apresentado para a proposta de tolerância a falha dos Agentes Estrangeiros (FAs). Nesta proposta, os roteadores da rede de origem (HAs) dos usuários serão os centros das atenções e por esse motivo todas as informações monitoradas pela gerência de desempenho e utilizadas pela gerência de configuração para a criação dos membros de backup dos HAs

defeituosos serão relativas aos HAs livres de falhas. Outra sutil diferença é o fato dos Agentes de Origem membros de backup controlarem as cargas de tráfegos de outros usuários (estações móveis) que estarão dispersos por várias áreas de coberturas, diferentes BTSs, ao passo que na proposta descrita para os FAs estes controlavam a carga de tráfego total de uma determinada BTS.

A gerência de falha detectará e identificará os Agentes de Origem defeituosos através de dois mecanismos básicos. No primeiro são efetuados periódicos pings para os endereços IP de todos os Agentes de Origem existentes. No segundo caberá ao roteador de borda do Agente de Origem defeituoso alertar a gerência de falha sobre a falha do HA que está conectado a este roteador. A mensagem de alerta desse roteador para a gerência de falha baseia-se da observação de que este roteador não recebeu nenhuma mensagem de Resposta de Registro proveniente daquele HA por um período maior do que este normalmente costuma recebê-las. Já que o HA deve periodicamente efetuar o processo de registro das suas estações móveis com intuito de manter sempre atualizada a sua lista de associações dos endereços IP dessas estações e dos Agentes Estrangeiros. Como já foi visto, essa lista de associações de endereços IP permite que as estações móveis daquele HA sejam localizadas em outros domínios de redes.

Após a detecção de falha de um ou mais HAs a gerência de falha notifica a gerência de desempenho de tal acontecimento. Em seguida esta gerência envia as suas informações de controle sobre os parâmetros gerenciados por ela para a gerência de configuração. Esses parâmetros de gerenciamento são basicamente os mesmos apresentados na proposta de tolerância à falha dos FAs, mas agora essas informações são relativas aos HA ativos. Esses parâmetros: são a carga de tráfego de cada HA ativo, os retardos de propagação que os pacotes sofrem ao percorrerem diversos links que criam caminhos lógicos entre várias BTSs a cada HA ativo e as classes de serviços (Conversacional, Interativa, Streaming, Background) que os usuários usufruem no momento da falha do seu HA. Com base nestas informações, a gerência de configuração criará a lista de membros de backup.

Com a falha de um ou mais HAs foram perdidas as listas que continham as associações dos endereços IP das estações móveis desses HAs com os endereço IP dos Agentes Estrangeiros. Dessa forma todos os pacotes de dados destinados a essas estações móveis não poderão chegar aos seus respectivos destinos se não

forem recuperadas aquelas listas de associações de endereços IP. Para que esta recuperação seja executada, a gerência de configuração envia uma mensagem para todos FAs com intuito de que cada um deles responda se há pelo menos uma estação móvel afetada pela falha daquele HA e qual classe de serviço aqueles usuários estão consumindo naquele instante. Após o recebimento desta mensagem cada FA pesquisará na sua lista de visitantes se há algum endereço IP pertencente aos domínios informados naquela mensagem. Caso exista pelo menos uma estação móvel pertencente ao domínio informado, este FA enviará uma mensagem de resposta para a gerência de configuração, informando que os endereços IP de tais estações foram encontrados em seus registros e que naquele exato momento aqueles usuários estão usufruindo de serviços de uma determinada classe de serviço.

Dessa maneira, a gerência de configuração conseguirá recuperar aquela lista de associações de endereços IP e saberá que tipo de serviço aquelas estações móveis estavam “consumido” no momento da falha daquele HA. Porém, para que essa gerência de rede saiba que classe de serviço aquelas estações móveis estavam consumindo no momento dessa falha, é proposto a introdução de um campo de informação que tenha esse propósito tanto na lista que associa os endereços IP das diferentes estações móveis com os seus respectivos CoAs (listas existente nos HAs) como na lista de estações móveis visitantes em uma rede estrangeira (listas existente nos FAs).

Após a recuperação daquela lista, a gerência de configuração dividirá os endereços IP das estações móveis afetadas pelas falhas dos HAs defeituosos entre os agentes membros de backup segundo os critérios estabelecidos por ela. Entretanto, esta simples distribuição ainda não permite que esses membros de backup controlem uma porção adicional da carga de tráfego dos agentes defeituosos, pois as tabelas de roteamentos dos roteadores do Core Network ainda direcionam os pacotes de dados para aqueles HAs defeituosos.

Como já foi dito neste capítulo, todos os pacotes de dados destinados às estações móveis devem ser primeiro “interceptados” pelos seus respectivos Agentes de Origem e então redirecionados para áreas de coberturas onde estas estações se encontram. Essa “interceptação” só é conseguida graças à informação (rota) contida na tabela de roteamento daquele roteador do Core Network conectado aquele HA ativo. Portanto, a gerência de configuração enviará

simultaneamente uma mensagem para cada roteador do Core Network que possui uma conexão ativa com aquele HA, com intuito de reconfigurar as suas tabelas de roteamentos. Ou seja, em cada roteador do Core Network conectado a um HA defeituoso será desfeita a rota que redireciona os pacotes de dados para aquele HA defeituoso e será configurada uma nova rota que permita que os pacotes de dados destinados às estações móveis afetadas pela falha daquele HA cheguem aos HAs membros de backup. Isto é, os pacotes destinados àqueles usuários continuaram a ser redirecionados para aquele roteador do Core Network conectado ao HA defeituoso, mas agora estes serão encapsulados e enviados para os endereços IP dos HAs membros de backup.

Os pacotes ao chegarem nos membros de backup serão desencapsulados e os endereços IP das estações móveis serão analisados e em seguida este membro de backup procurará na sua lista de associações de endereços IP os endereços IP daquelas estações móveis. Ao encontrá-los este membro de backup (HA) encapsulará esses pacotes de dados para os endereços IP dos FAs que naquele momento suportam as conexões daquelas estações.

Na subseção a seguir serão detalhados os critérios utilizados para alocações dos HA como membros de backup.

### **5.2.1. Critérios de alocações dos HAs como membros de backup**

Paralelamente ao monitoramento dos parâmetros citados na proposta de tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros a gerência de desempenho monitora outros parâmetros, agora relativos ao funcionamento dos Agentes de Origem. Essas informações de desempenho são estruturadas por esta gerência para que sejam repassadas para a gerência de configuração. Esta gerência por sua vez utilizará essas informações como parâmetros de entradas para o seu software que alocará as estações móveis atingidas pelas falhas de um ou mais HAs em outros HAs ativos membros de backup. Para cada parâmetro de entrada citado nos itens abaixo, será ilustrado quando necessário alguma tabela contendo informações referentes à arquitetura de rede da figura 15 onde será suposto que ocorra somente uma falha em um dos HAs (HA1) e que nenhuma falha ocorra nos FAs. Também

será suposto que o HA defeituoso (HA1) possui 10 estações móveis (MSs) registradas antes da ocorrência da falha. Esses parâmetros de entradas são:

- a) O valor da largura de banda do link que conecta cada HA ao seu respectivo roteador de borda, bem como a porção desta largura de banda que está sendo realmente consumida.

Tabela 12 - Valores para os parâmetros relativos aos HAs ativos.

	Largura de Banda do Link (Mbit/s)	Largura de Banda Consumida (Mbit/s)
HA2	15	3,5
HA3	15	4,0

- b) O retardo médio que os pacotes de dados sofrem ao percorrerem diversos links que conectam uma determinada BTS a um FA ativo. Essa BTS está conectada através de um link a BSC principal daquele FA ativo.

- c) O retardo médio que os pacotes sofrem ao percorrerem vários links que conectam cada FA aos demais HAs livres de falha. O objetivo desta informação é analisar quais dos possíveis membros de backup introduzirão os menores retardos nos pacotes de dados.

Tabela 13 - Valores para os parâmetros relativos mencionados nos itens b) e c).

	Retardo Médio (ms) entre BTSx e FA x = 1,2 e 3			Retardo Médio (ms) entre FAX e HAY x = 1,2 e 3 y = 2 e 3	
	BTS1	BTS2	BTS3	HA2	HA3
FA1	35,0	40,0	35,0	70,0	70,0
FA2	40,0	45,0	40,0	80,0	80,0
FA3	30,0	35,0	30,0	70,0	70,0

- d) Classe de serviço que cada estação móvel atingida pela falha do seu HA usufruía no momento da ocorrência dessa falha.

Cada serviço que um determinado usuário (estação móvel) solicita a uma aplicação servidora pertence a uma determinada classe de serviço (Conversacional, Interativa, Streaming e Background). E exige uma dada taxa de dados para que esta possa ser executada de forma adequada no terminal da estação móvel do usuário. Portanto, cada serviço usufruído pelo usuário no momento da



falha de um ou mais HAs será classificado de acordo com as exigências de retardo e de taxa de dados. Por exemplo, serão destacadas duas classes de serviços, a conversacional e a interativa. Na classe conversacional os serviços são caracterizados por exigirem uma entrega imediata como os serviços VoIP e de Vídeo Conferência. O primeiro tipo de serviço exige uma taxa de dados bem menor do que o serviço de Vídeo Conferência. A classe interativa é caracterizada por exigir que a entrega dos pacotes de dados seja feita com ínfima probabilidade de erro e que o tempo decorrido entre uma solicitação da aplicação cliente à aplicação servidora e o recebimento da resposta por parte desta aplicação cliente não sofra um grande retardo. Embora este retardo possa ser um pouco maior do que os exigidos para os serviços da classe conversacional, pois os serviços da classe interativa não são de tempo real. Para esta classe será destacado o serviço de transferência de arquivos. Portanto, os serviços da classe conversacional de tempo real terão uma prioridade maior comparada aos serviços da classe interativa. A identificação da priorização desses serviços é ilustrada na tabela 14 abaixo.

- Classe de serviço conversacional com alta taxa de dados (Vídeo conferência) – 1
- Classe de serviço conversacional com baixa taxa de dados (VoIP) – 2
- Classe de serviço interativa (FTP) – 3

Tabela 14 - Identificação do serviço usufruído pela estação móvel.

	Identificação do Serviço
Estação Móvel 1 (Endereço IP)	2
Estação Móvel 2 (Endereço IP)	2
Estação Móvel 3 (Endereço IP)	2
Estação Móvel 4 (Endereço IP)	1
Estação Móvel 5 (Endereço IP)	1
Estação Móvel 6 (Endereço IP)	3
Estação Móvel 7 (Endereço IP)	3
Estação Móvel 8 (Endereço IP)	3
Estação Móvel 9 (Endereço IP)	2
Estação Móvel 10 (Endereço IP)	1

Em seguida a gerência de desempenho envia esse conjunto de informações estruturados para a gerência de configuração. Esta gerência por sua vez processará esse conjunto de informações por meio de um software especial para que seja

criada a lista de membros de backup dos HAs defeituosos. O software efetuará os seguintes procedimentos para determinação dos membros de backup:

**Primeiro Procedimento:** Para cada HA ativo (livre de falha) a carga de tráfego disponível será calculada subtraindo da largura de banda do link que conecta esse HA ao seu respectivo roteador de borda a largura de banda que é realmente consumida neste link. Em seguida o software organizará a informação da carga de tráfego disponível de cada HA ativo por ordem decrescente.

As informações da tabela 12 serão empregadas para exemplificar o resultado da execução deste procedimento e pode ser visto na tabela 15.

Tabela 15 - Carga de tráfego disponível nos HA2 e HA3.

	Largura de Banda Disponível (Mbit/s)
HA2	11,5
HA3	11,0

**Segundo Procedimento:** Para cada FA será calculado o retardo médio total para o caminho lógico que conecta o conjunto de BTSs da BSC principal daquele FA aos possíveis membros de backups (HAs). O objetivo desta informação é analisar quais dos possíveis membros de backup (HAs) introduzirão os menores retardos possíveis nos pacotes de dados.

A tabela 16 abaixo ilustra os resultados dos vários retardos médios totais obtidos para diferentes combinações entre os diferentes FAs e HAs empregando os valores dos parâmetros da tabela 13.

Tabela 16 - Retardo médio total (ms) entre o conjunto de BTSs do FAx e o HAy.

	Retardo Médio Total (ms) entre uma BTSx do FAx e o HAy x = 1,2 e 3 y = 2 e 3					
	HA2			HA3		
	BTS1	BTS2	BTS3	BTS1	BTS2	BTS3
FA1	105,0	110,0	105,0	125,0	130,0	125,0
FA2	120,0	125,0	120,0	120,0	125,0	120,0
FA3	100,0	105,0	100,0	80,0	85,0	80,0

Para compreender os valores obtidos da tabela 16 verifique os cálculos efetuados acompanhando os valores ilustrados na tabela 13.

- *Exemplificação dos valores obtidos para a linha FA1, coluna HA2:*
  - *Linha FA1 e coluna BTS1:  $35,0 + 70,0 = 105,0$  ms*
  - *Linha FA1 e coluna BTS2:  $40,0 + 70,0 = 110,0$  ms*
  - *Linha FA1 e coluna BTS3:  $35,0 + 70,0 = 105,0$  ms*
  
- *Exemplificação dos valores obtidos para a linha FA1, coluna HA3:*
  - *Linha FA1 e coluna BTS1:  $35,0 + 70,0 = 105,0$  ms*
  - *Linha FA1 e coluna BTS2:  $40,0 + 70,0 = 110,0$  ms*
  - *Linha FA1 e coluna BTS3:  $35,0 + 70,0 = 105,0$  ms*

**Terceiro Procedimento:** Para cada BTS que contém pelo menos um usuário afetado pela falha de seu Agente de Origem serão organizados os retardos médios totais calculados no segundo procedimento por ordem crescente. Caso exista mais de uma opção de HA com o mesmo retardo médio total será dada prioridade aquele HA que possui a maior largura de banda disponível. Se mesmo assim ainda há HAs com os mesmos valores para esses dois parâmetros a ordenação entre os mesmos poderá ser feita utilizando qualquer parâmetro atribuído pelo programador com intuito de diferenciá-los. O objetivo da organização dos retardos médios totais por ordem crescente é determinar qual das opções de Agentes de Origem ativos introduz o menor retardo médio aos pacotes de dados. A finalidade da execução do primeiro procedimento desta proposta fica clara neste terceiro procedimento, pois caso exista mais de uma opção de HA ativo com o mesmo valor para o retardo médio total será dada prioridade aquele HA ativo que possui a maior carga de tráfego disponível. Em seguida a lista de estações móveis afetadas pela falha de um ou mais HAs e que foram classificadas quanto a classe de serviço por ela consumida será agora processada pelo software da gerência de configuração. Caberá a esse software alocar aquelas estações móveis afetadas analisando as suas classes de serviços (Tabela 14) e os retardos médios totais (Tabela 16) ao empregar os possíveis HAs ativos como membros de backup. Essa tarefa de alocação é descrita no quarto procedimento.

A tabela 17 ilustra o resultado da execução deste procedimento (terceiro procedimento) empregando as informações das tabelas 15 e 16.

Tabela 17 - Retardos médios totais organizados por ordem crescente.

Retardo Médio Total (ms)	FA1		
	BTS1	BTS2	BTS3
	105,0 - HA2	110,0 - HA2	105,0 - HA2
	125,0 - HA3	130,0 - HA3	125,0 - HA3
	FA2		
	BTS1	BTS2	BTS3
	120,0 - HA2	125,0 - HA2	120,0 - HA2
	120,0 - HA3	125,0 - HA3	120,0 - HA3
	FA3		
	BTS1	BTS2	BTS3
80,0 - HA3	85,0 - HA3	80,0 - HA3	
100,0 - HA2	105,0 - HA2	100,0 - HA2	

Observe na tabela acima que para o FA2 tanto os HA2 e HA3 introduzem os mesmos retardos, entretanto a carga de tráfego disponível do HA2 é maior do que HA3 permitido assim que o HA2 fosse priorizado na ordenação.

**Quarto Procedimento:** No terceiro procedimento para cada BTS foi criada uma lista de Agentes de Origem organizados por ordem crescente quanto aos retardos médios introduzidos aos pacotes de dados ao terem esses agentes como opção de membro de backup. No quarto procedimento todas essas listas criadas para cada BTS no procedimento anterior serão analisadas para a criação de novas listas de informações. A quantidade dessas novas listas de informações é igual ao número de Agentes de Origem ativos. Ou seja, para cada BTS que foi criada uma lista no terceiro procedimento será obtida a informação de qual Agente de Origem ativo introduz o menor retardo médio aos pacotes de dados (primeiro HA que encabeça a lista criada no terceiro procedimento). Em seguida essa informação será filtrada para a nova lista de informações que conterà todas as BTSs que possuem o mesmo HA como primeira opção de membro de backup. Portanto, serão criadas tantas listas quantos forem os números de Agentes de Origem ativos. Para a situação de nosso exemplo foram criadas 2 listas contendo todas as BTSs que possuem como primeira opção de membro de backup o HA2 e o HA3 respectivamente. A figura 16 ilustra essas duas listas contendo as BTSs dos diferentes FAs que tem como o HA2 e HA3 como a primeira opção de membro de backup.

HA2		HA3	
BTSx	Retardo (ms)	BTSx	Retardo (ms)
BTS1 do FA1	105,0	BTS1 do FA3	80,0
BTS2 do FA1	110,0	BTS2 do FA3	85,0
BTS3 do FA1	105,0	BTS3 do FA3	80,0
BTS1 do FA2	120,0		
BTS2 do FA2	125,0		
BTS3 do FA2	120,0		

Figura 16 - Listas de BTSs que possuem como primeira opção de membro de backup os HA2 e HA3.

A última etapa deste procedimento consiste em organizar as BTSs de cada nova lista criada em ordem crescente quanto aos retardos médios medidos. A figura 17 abaixo ilustra essa organização para ambas as listas da figura 16 acima.

HA2		HA3	
BTSx	Retardo (ms)	BTSx	Retardo (ms)
BTS1 do FA1	105,0	BTS1 do FA3	80,0
BTS3 do FA1	105,0	BTS3 do FA3	80,0
BTS2 do FA1	110,0	BTS2 do FA3	85,0
BTS1 do FA2	120,0		
BTS3 do FA2	120,0		
BTS2 do FA2	125,0		

Figura 17 - Listas de BTSs organizadas por ordem crescente quanto aos retardos.

**Quinto Procedimento:** para cada lista criada no procedimento anterior serão criadas duas listas: uma para as estações móveis atingidas pela falha do seu Agente de Origem e que utilizam os serviços de dados que possuem taxas de dados definidas como os serviços de Vídeo Conferência e VoIP e uma outra lista para os usuários também atingidos pela falha do mesmo HA e que utilizam serviços que empregam pacotes TCP (Transmission Control Protocol) na camada de transporte, como o serviço FTP (File Transfer Protocol). A razão para esta divisão é que os serviços que utilizam pacotes TCP tendem a ter uma taxa de dados (vazão) que o aumenta até alcançar a máxima largura de banda do link enquanto não é detectada nenhuma perda de pacotes TCP (enquanto o mecanismo de backoff exponencial não é acionado). Ou seja, não haveria um valor estimado para as taxas de dados de tais serviços que pudesse ser empregada no processo de alocação dessas estações móveis. A partir de agora serão referidas essas duas listas como sub-listas dos Agentes de Origem.

Para cada sub-lista dos diferentes HAs essas estações móveis serão organizadas seguindo a mesma ordem em que as BTSs foram organizadas na

execução do quarto procedimento, vide figura 17 para verificar essa ordem. Por exemplo, para a lista do HA2 as estações móveis atingidas pela falha do HA1 e que se encontram sob a área de cobertura da BTS3 do FA1 terão uma maior prioridade de serem alocadas nessa opção de membro de backup (HA2) em relação às estações móveis atingidas pela falha do mesmo HA e que estão sob a área de cobertura da BTS2 do FA1.

O passo seguinte desse procedimento é tentar alocar essas estações móveis atingidas pela falha dos seus respectivos Agentes de Origem na primeira opção de membro de backup (HA que possui o menor retardo). Esse processo de alocação dessas estações móveis é executado para cada uma das listas criadas no procedimento anterior e é feito da seguinte maneira: primeiro tenta-se alocar as estações móveis que no momento da falha do seu HA estavam usufruindo dos serviços de Vídeo Conferência e VoIP. Logo dessas estações móveis aquelas que se encontram na área de cobertura da BTS que encabeça a listas de BTSs organizadas por ordem crescente quanto ao retardo introduzidos aos pacotes de dados terão uma maior prioridade dentre as demais que possui o mesmo HA como primeira opção de membro de backup. Além disso, dentro desta mesma BTS, lembrando que neste momento apenas a sub-lista de estações móveis que usufruem dos serviços de Vídeo Conferência e VoIP está sendo analisada, será dada uma maior prioridade as estações móveis que “consomem” o serviço de Vídeo Conferência do que as estações que “consomem” o serviço VoIP. Portanto, dentro da mesma BTS os usuários dos serviços de Vídeo Conferência serão os primeiros a serem alocados ao invés dos usuários do serviço VoIP. Logicamente, cada estação móvel atingida pela falha de seu HA só terá sua carga de tráfego adicionada na sua primeira opção de membro de backup se a carga de tráfego disponível neste mesmo membro de backup for maior ou igual à carga de tráfego adicional.

Imediatamente após ser feita a alocação das estações móveis da primeira sub-lista começa a alocação das estações móveis da segunda sub-lista (estações que usufruem do serviço FTP) na primeira opção de membro de backup. Ou seja, no mesmo HA onde as estações móveis da primeira sub-lista foram alocadas. Como neste tipo de serviço não há uma estimativa da taxa de dados a ser empregada para o processo de alocação dessas estações móveis, será dividida a carga de tráfego disponível desse HA membro de backup após ser feita a alocação

da última estação móvel da primeira sub-lista pelo número de estações móveis dessa segunda sub-lista. Caso o resultado dessa divisão seja maior ou igual ao valor do limiar de largura de banda definida pelo administrador de rede, essas estações móveis que utilizam o serviço de transferência de dados serão alocadas nos seus respectivos Agentes de Origem de primeira opção de membro de backup. Caso o resultado dessa divisão seja menor que o limiar adotado, o número de estações móveis dessa segunda sub-lista será decrementado e novamente será feita a divisão a fim de alocar uma quantidade menor de estações móveis. Se mesmo assim ainda não é possível alocar essa quantidade de estações, esse processo será executado até que seja possível alocar algum usuário dessa segunda sub-lista. Cada estação móvel dessa segunda sub-lista que foi descartada durante esse processo de alocação será filtrada para a sua respectiva segunda opção de membro de backup onde esta estação será provavelmente alocada.

Essas sub-listas que identificam os serviços consumidos pelos usuários no momento da falha dos seus HAs são utilizadas para assegurar que os usuários que usufruem dos serviços da classe conversacional não fiquem expostos a um retardo maior do que os usuários que usufruem dos serviços da classe interativa.