

Balanceamento de Chamadas VoIP H.323 para a Rede de Telefonia Pública

Anderson A. Albuquerque, Paulo H. de A. Rodrigues

Núcleo de Computação Eletrônica - Departamento de Ciência da Computação/IM
Universidade Federal do Rio de Janeiro
(NCE/UFRJ – DCC/IM/UFRJ)*
Caixa Postal 2324 – 20001-970 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

Laboratório de Voz Sobre IP – Núcleo de Computação Eletrônica.

andersonaa@posgrad.nce.ufrj.br, aguiar@nce.ufrj.br

Abstract. *A distributed call load balancing algorithm for routing H.323 VoIP calls to the PSTN within the fone@RNP scenario, where more than one institution can complete a call, is presented. The algorithm takes in consideration all operational limitations of RNP H.323 architecture and uses the fraction of external calls to the number of gateway voice channels not occupied by internal calls as the optimizing metrics. Simulations with different scenarios show algorithm efficacy under varying internal VoIP traffic load. The algorithm adoption in the fone@RNP service is been evaluated.*

Resumo. *Um algoritmo distribuído para balanceamento de chamadas H.323 destinadas à rede pública de telefonia dentro do cenário do serviço fone@RNP, é apresentado. São respeitadas as limitações operacionais da arquitetura H.323 da RNP, onde várias instituições interconectadas a um POP completam chamadas para uma mesma cidade. É utilizada a métrica representada pela fração de chamadas externas em andamento sobre o número de canais de voz não ocupados com chamadas internas para balanceamento. Simulações com diferentes cenários comprovam a eficácia do algoritmo frente a diferentes níveis de utilização interna de VoIP nas instituições. Seu uso no serviço fone@RNP está sendo avaliado.*

1. Introdução

A estrutura de rede da RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) possui pontos de presença (POP-RNP) em algumas cidades brasileiras, como mostrado na Figura 1, onde se interligam instituições de ensino, pesquisa ou mesmo redes.

* Suporte parcial do projeto VoIP4ALL da RNP. Paulo Rodrigues é analista do NCE e professor do DCC. Anderson Albuquerque é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Informática do NCE/DCC.

A RNP oferece hoje para as instituições integrantes da sua rede o serviço fone@RNP, que implementa a transmissão de voz sobre IP, sendo utilizada a sinalização H.323 [1] do ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunication*) para encaminhamento de chamadas interinstitucionais.

Dentro do padrão H.323 existem alguns elementos essenciais como o *gatekeeper* (GK), que recebe chamadas de terminais H.323, e o *gateway de voz*, que interfaceia o PBX (*Private Branch eXchange*) com a rede. O GK é responsável pela autorização, controle de admissão e estado das chamadas, podendo atuar como *proxy* de mídia e sinalização. Os terminais H.323 podem ser telefones IP em *hardware* ou *software*, sendo que tanto os terminais H.323 como os *gateways* de voz têm que se registrar num *gatekeeper*.

Estes elementos se comunicam com uso da arquitetura TCP/IP, podendo estar conectados em qualquer ponto de uma rede local ou *backbone* IP. Um exemplo de topologia é mostrado na Figura 1, onde as instituições conectadas ao POP-RNP1 e pertencentes ao serviço fone@RNP são capazes de encaminhar chamadas VoIP para a rede de telefonia fixa comutada (RTFC) da cidade, via PBX. Uma chamada originada em outra cidade e destinada ao código de área da cidade do POP-RNP1 é roteada até este POP e depois encaminhada a um dos *gatekeepers* existentes, o qual irá repassá-la ao *gateway*, e esse, por sua vez, ao PBX. *Gateways* com interface E1 ISDN (*Integrated Services Digital Network*) conectam a troncos digitais do PBX e são capazes de suportar 30 conexões de voz simultâneas, enquanto que a interface FXO (*Foreign eXchange Office*), usada para conexão a um ramal analógico do PBX, possibilita o estabelecimento de apenas uma única chamada telefônica.

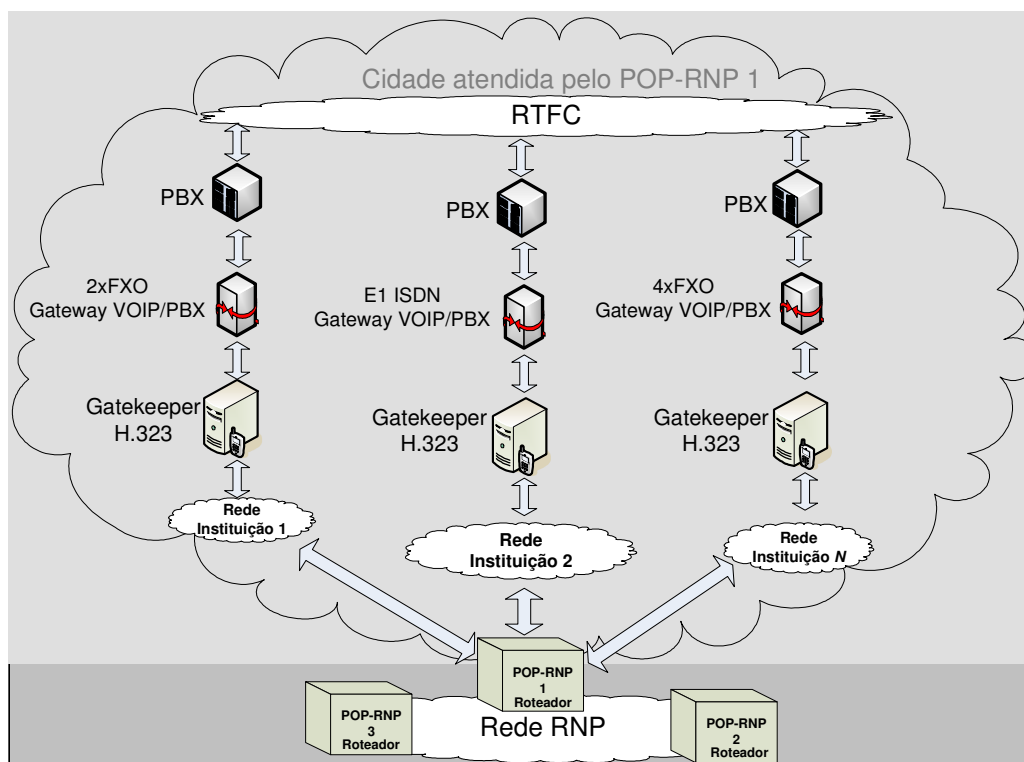


Figura 1. Interconexão de Instituições do serviço fone@RNP ao POP-RNP

Como a quantidade de canais disponíveis nos *gateways de voz* é limitada, o aumento do número de usuários com a expansão do serviço *fone@RNP* poderá gerar uma demanda de tráfego muito alta para ser atendida pelos *gateways* existentes. Quando vários GKs receberem, ao mesmo tempo, um pedido para estabelecimento de chamada com a RTFC, o GK que responder primeiro à solicitação será aquele que receberá a chamada. Esse procedimento simples da sinalização H.323 pode levar a um uso ineficiente dos *gateways de voz*, repassando as chamadas sempre para uma mesma instituição, provocando o congestionamento de seu *gateway*, e, como consequência, o não completamento da chamada, ainda que existam canais livres para comunicação em outras instituições da mesma cidade.

Uma chamada encaminhada para um *gateway VoIP/PBX* que foi originada em outra instituição será denominada *chamada externa*; a *chamada interna* será aquela originada na rede da própria instituição. Caso um *gateway* esteja com todos os canais ocupados, naquele momento o seu PBX é inalcançável. É importante ressaltar que, quando todos os *gateways* de uma cidade estiverem saturados, sem canais livres, chamadas externas e internas para a cidade não serão completadas e serão descartadas. Além dessa, outras situações podem contribuir para que uma chamada não seja completada, como a ocorrência de falhas na rede local de pelo menos uma das instituições envolvidas na chamada, problemas com elementos VoIP do serviço *fone@RNP* ou das instituições envolvidas na chamada, dentre outras.

A saturação numa instituição poderá ser contornada com o aumento do número de canais de voz com o PBX, assumindo que a instituição possa absorver o volume de tráfego VoIP pretendido. Todavia, o compartilhamento dos recursos das várias instituições de uma mesma cidade seria uma solução mais adequada. O balanceamento de chamadas tem por objetivo distribuir as chamadas entre os vários *gateways*, segundo alguma métrica. Com isso, uma diminuição na probabilidade de chamadas não completadas por saturação pode ser alcançada, além de haver a possibilidade de equilíbrio de custos telefônicos, relativos ao *fone@RNP*, entre as instituições. Cabe aqui lembrar que chamadas do serviço *fone@RNP* são completadas para a rede pública de telefonia de forma opcional pelas instituições, não sendo um requisito mandatório.

Pela especificação do serviço *fone@RNP*, o GK deve funcionar tanto em modo *proxy de mídia* como em modo *proxy de sinalização*, o que obriga toda a sinalização e a mídia envolvida numa chamada a passar pelo GK, ou seja, clientes envolvidos em uma chamada não podem se comunicar diretamente. Essa configuração do GK atende a requisitos de segurança e implantação de QoS. Dessa forma, uma chamada VoIP entre instituições diferentes primeiro passa pelos seus *gatekeepers* antes de ir para o *gateway*.

Quando uma instituição opera mais de um *gateway* com o PBX, o *gatekeeper* precisa controlar o encaminhamento das chamadas, evitando repassar chamadas para *gateways* sem canais livres. No serviço *fone@RNP*, o *gatekeeper* utilizado é o *GNU Gatekeeper* (GnuGk)¹, e o balanceamento entre *gateways* pode ser realizado com a versão 2.2.3-2 do *Gatekeeper GnuGk*, que possui recursos para isso. Mas, para balancear o encaminhamento de chamadas entre os *gatekeepers* não existe uma solução a priori, e tanto algoritmos centralizados como distribuídos podem ser utilizados.

¹ Site oficial do Gatekeeper GnuGk, <http://www.gnugk.org>, que foi consultado em dezembro de 2005.

No algoritmo centralizado, existe uma entidade central [3] que precisa receber atualizações das métricas a serem utilizadas pelo algoritmo de decisão [3], e ser consultada antes do encaminhamento de uma chamada, o que provoca um atraso adicional para completamento da chamada. As informações precisam ser sincronizadas com frequência na entidade central [8], evitando erros na tomada de decisão do algoritmo. Com a escalabilidade do serviço VoIP é inevitável que as consultas tendam a crescer [8], provocando um aumento de tráfego na rede [8] em torno deste ponto de decisão e a necessidade de aumento do poder computacional desta entidade para realizar a tomada de decisão em tempo hábil. Nesse tipo de algoritmo, a entidade central é um ponto de falha [3], que pode ter problemas no seu funcionamento ou na comunicação com a rede. Além disso, o atraso para a tomada de decisão pode ser alto, o que é crítico para esta aplicação de tempo real. A complexidade de uma arquitetura centralizada [8] é também um ponto negativo.

No algoritmo distribuído cada elemento gerencia os seus próprios recursos [4], baseando-se em informações locais. Quando são utilizadas informações de outros elementos para viabilizar o funcionamento do algoritmo, ele é classificado como global [3]. Neste tipo de algoritmo não existe um elemento central a ser consultado, e o ponto de falha local é eliminado. Um ponto que deve ser levado em consideração é a escalabilidade do algoritmo distribuído [3, 4], importante em serviços onde a sua utilização é crescente.

Levando em consideração o que foi exposto, a implementação de um algoritmo distribuído, que considere as limitações e versatilidades dos elementos da arquitetura H.323 no serviço `fone@RNP`, parece ser uma decisão conveniente. Neste artigo, uma proposta de algoritmo distribuído de balanceamento de chamadas para o cenário do serviço `fone@RNP` é apresentada. O algoritmo se aplica a qualquer situação onde a aceitação de chamadas depende do retorno de mensagens enviadas de um ponto central, como com DGK (*Directory GK*), em H.323. Situação semelhante também ocorre com a sinalização SIP (*Session Initiation Protocol*) [9], quando há múltiplos pedidos de estabelecimento de chamadas (“fork”) a partir de um servidor Proxy. Portanto, o algoritmo não fica restrito à topologia do serviço `fone@RNP`.

O artigo está dividido em 5 seções. Na seção 2, são apresentados aspectos básicos sobre VoIP, necessários para o entendimento da proposta. Na seção 3, o algoritmo proposto neste artigo é explicado, e os resultados de simulação são mostrados na seção 4. Finalmente, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros na seção 5.

2. Aspectos básicos sobre VoIP

Nesta seção são apresentados aspectos básicos sobre VoIP que são importantes para o entendimento do funcionamento do serviço `fone@RNP` e do algoritmo proposto.

No ambiente H.323, o servidor *gatekeeper* realiza a tarefa de autenticação dos clientes H.323 utilizando um nome de usuário e uma senha. Um cliente registrado recebe um identificador numérico único num determinado código de área, que é chamado de número E.164. No serviço `fone@RNP` os quatro primeiros números identificam uma instituição e os quatro seguintes identificam um usuário. Um usuário pode ser alcançado discando `0 <código de área> <número E.164>`.

Toda entidade H.323 registrada em um *gatekeeper* pertence a sua zona administrativa. Dessa forma, o *gateway VoIP/PBX* também precisa estar registrado para fazer parte da zona administrativa, e o *gatekeeper* permite que o *gateway* possa receber chamadas com destino ao PBX ou à RTFC, através dele.

Quando um cliente H.323 deseja realizar uma chamada, ocorre uma sinalização entre ele e o seu *gatekeeper*, onde primeiro é enviada uma mensagem chamada ARQ (*Admission Request*), que solicita a admissão da chamada, informando o número E.164 de destino da chamada. O *gatekeeper* poderá retornar uma confirmação da chamada, através de um ACF (*Admission Confirm*), ou um ARJ (*Admission Reject*), rejeitando a chamada. Caso o número E.164 de destino não esteja registrado no GK, uma lista de vizinhos é consultada, permitindo o repasse do ARQ, e para isso é utilizada a primitiva de sinalização LRQ (*Location Request*).

A sinalização envolvida no processo de consulta a GKs vizinhos, é exemplificada na Figura 2. Nessa figura, o Terminal A, chamador, é quem irá iniciar uma solicitação de chamada; o Terminal B, chamado, irá receber o pedido. Além disso, como é mostrado na Figura 2 os *gatekeepers* envolvidos estão em modo *proxy* de sinalização, pois os Terminais A e B não enviam sinalizações entre si diretamente.

Na explicação que se segue, os números entre parênteses referem-se às mensagens de sinalização identificadas na Figura 2. Quando uma chamada é solicitada através da ARQ (1), o *gatekeeper* (*GK Routed A*) irá verificar se o usuário de destino está registrado nele, e, caso não esteja, consultará os seus vizinhos. No cenário na Figura 2 existe apenas um vizinho contatado, que é o DGK.

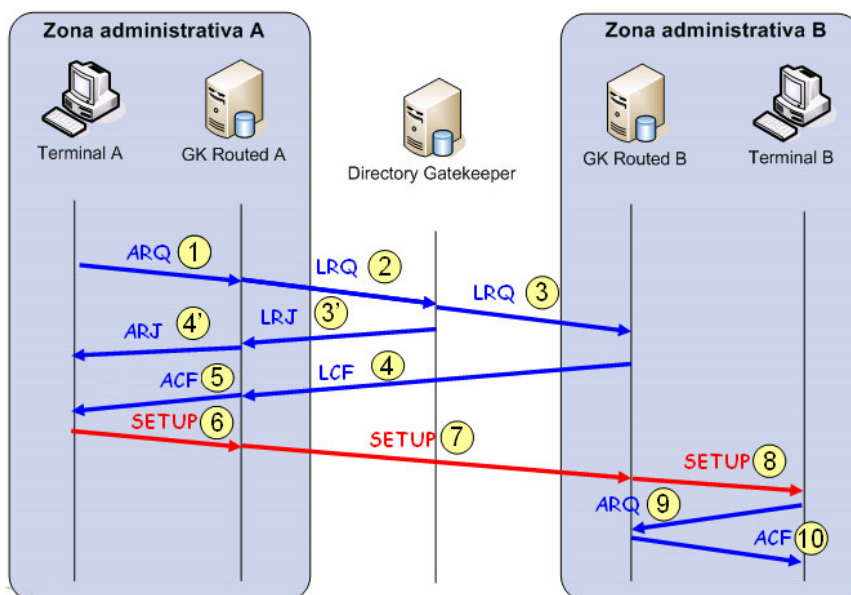


Figura 2. Processo de localização utilizando o DGK

A consulta de vizinhos no serviço *fone@RNP* é realizada enviando um pedido de localização LRQ (*Location Request*) (2) para o DGK da RNP. No pedido de localização o LRQ possui o número E.164 do terminal chamado e o endereço do *gatekeeper* que originou a solicitação da chamada. O DGK irá localizar o GK que atende o número E.164 de destino em sua configuração interna, e, nessa busca, são

utilizados o código de área e o prefixo E.164 do telefone IP. Caso o DGK não localize pelo menos um GK que atenda o prefixo E.164, será retornada uma mensagem de rejeição da chamada, LRJ (*Location Reject*) (3'), para o GK que originou o pedido de localização enviado ao DGK. Uma vez que um ou mais GKs de destino tenham sido localizados, uma mensagem LRQ (3) será repassada para eles, e o próximo passo será cada servidor contatado pelo segundo LRQ (no exemplo, o *GK Routed B*) enviar um LCF (*Location Confirm*) (4), permitindo ao GK originador iniciar o estabelecimento da chamada através do envio de uma mensagem *SETUP* (6, 7 e 8).

Quando um LRQ ao DGK não tem sucesso, a seqüência de mensagens na Figura 2 é ARQ (1), LRQ (2), LRJ (3') e ARJ (4'). A seqüência ARQ (1), LRQ (2), LRQ (3) e LCF (4) representa um LRQ ao DGK com sucesso. O recebimento do *SETUP* (8) pelo terminal B provoca um pedido de admissão ARQ (9) ao GK de sua zona administrativa. Assim como a mensagem ACF (5) informa ao cliente chamador (Terminal A) que a chamada foi admitida, a mensagem ACF (10) confirma a admissão ao cliente Terminal B. Todos os GKs que respondem com LCF são denominados vizinhos daquele que fez a solicitação ao DGK. Na Figura 2, o *GK Routed B* é um dos vizinhos do *GK Routed A*.

No serviço *fone@RNP*, um *gateway VoIP/PBX* que pertencesse à zona administrativa B, Figura 2, estaria registrado no *gatekeeper GK Routed B*. Caso o *gateway* fosse o destino da chamada, ele se comportaria como o Terminal B, ou seja, a chamada seria encaminhada para o *gateway* através do *gatekeeper GK Routed B*.

Se a instituição zona administrativa B tivesse mais de um *gateway*, o seu *gatekeeper* poderia fazer o balanceamento entre esses *gateways*, utilizando recursos disponíveis no *gatekeeper GnuGK* versão 2.2.3-2, que foi citado na seção 1. Assim, é possível sempre considerar uma zona administrativa (ou instituição) como tendo apenas um *gateway VoIP/PBX*, que possui a soma das capacidades de canais dos *gateways* dessa zona administrativa.

Quando existem múltiplos GKs em uma região com capacidade de encaminhar chamadas a um mesmo prefixo E.164 da RTFC, o LCF que chegar primeiro ao GK chamador indicará para qual GK a chamada será encaminhada. Assim, esse GK intermediará a chamada que será encaminhada para o seu *gateway VoIP/PBX*, que a aceitará se possuir canais de voz disponíveis, caso contrário a chamada será perdida. Qualquer LCF que chegue ao iniciador da chamada após o primeiro não será considerado, ou seja, GKs que tiverem os seus LCFs desconsiderados não irão receber o *SETUP* (7), que é enviado apenas para o GK que enviou o primeiro LCF (4) recebido pelo GK chamador. O controle do atraso para envio do LCF poderá determinar quem terá maiores chances de receber a chamada. Assim, um *gatekeeper* pode provocar um atraso adicional no envio do LCF, quando for desejável que ele não receba a chamada.

3. O Algoritmo de Balanceamento

Para evitar que o *gatekeeper* mais “próximo” (em termos de atraso) do POP sempre receba as chamadas destinadas à cidade, um algoritmo de balanceamento é necessário. Encaminhar as chamadas sempre para uma mesma instituição não é desejável, porque o seu *gateway* ficaria mais sobrecarregado, do ponto de vista de ocupação de canais, além de onerar o custo telefônico de chamadas locais da instituição. Um algoritmo de

balanceamento que nos traga alternativa de encaminhamento é fundamental. O cenário da Figura 1 é aquele em que o algoritmo irá atuar.

O DGK, como mostrado na Figura 2, é utilizado para localizar os GKs de instituições que podem encaminhar chamadas com um determinado prefixo E.164 destino. No fone@RNP, uma zona administrativa pode ter vários GKs para encaminhamento de chamadas à telefonia pública da cidade, e, nessa situação, cada GK será informado da tentativa de uma chamada pela primitiva LRQ, que possui informações como o número E.164 destino e o endereço do GK originador da chamada.

Cada *gatekeeper* que receber este LRQ e que tiver *gateways* com canais disponíveis com PBX responderá com um LCF, que confirmará sua disponibilidade de receber a chamada. Todavia, a chamada será encaminhada para o GK do primeiro LCF que chegar. Os outros LCFs não serão considerados, e inclusive os seus *gatekeepers* não serão informados que a chamada foi enviada para outro. Mesmo que houvesse uma falha, que impedisse o início da chamada, um outro GK não seria contatado, e a tentativa de estabelecimento dessa chamada não ocorreria, sendo a chamada descartada.

O *gatekeeper* que irá receber a chamada é determinado pelo atraso sofrido pelo LCF, e essa premissa será utilizada pelo algoritmo, a fim de influenciar qual *gatekeeper* irá receber a chamada destinada à RTFC. A idéia principal do algoritmo é trabalhar com atrasos no envio do LCF, de modo a permitir que ocorra uma distribuição balanceada das chamadas entre os *gatekeepers* que completam chamadas para uma mesma cidade.

Na Figura 3 é mostrado um diagrama da sinalização envolvendo dois *gatekeepers* que podem encaminhar chamadas para a RTFC, porém lembrando que isso é realizado através dos seus *gateways VoIP/PBX*. A Figura 3 mostra qual percurso influenciaria no atraso dos LCFs. Entre o PBX chamador e o POP RNP 1, onde estão os *gatekeepers* que podem encaminhar a chamada, não existe diferença no percurso da sinalização, mas o tempo de ida e volta (*RTT* ou *Round Trip Time*) entre o POP-RNP e os GKs B e C são diferentes. Esta diferença de tempo é básica para o algoritmo, pois é determinante de quem terá sucesso em ter seu LCF chegando primeiro.

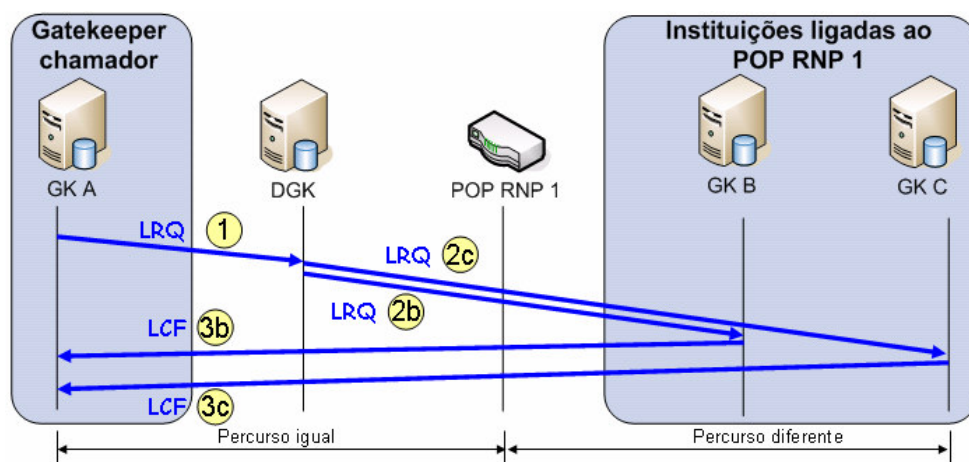


Figura 3. Percursos envolvidos na localização dos gatekeepers

Para balancear as chamadas bastará adicionar atrasos no envio do LCF. O atraso adicional deverá ser função de uma métrica que leve em conta a quantidade de canais de

voz livres e o número de chamadas externas já sendo atendidas pela instituição. Quando a quantidade de canais livres diminui, o GK deve atrasar um pouco mais o envio do LCF para diminuir sua probabilidade de ser escolhido para receber a chamada, evitando assim congestionar mais ainda o seu sistema. A ordem de grandeza desses atrasos não pode gerar um atraso para o recebimento do LCF no GK originador da ordem de minutos, pois isso causaria a desistência da chamada por *timeout* na sinalização H.323. Na Figura 3, caso o LCF do GK B receba um atraso adicional, e chegue no GK A após o LCF do GK C, o GK B não receberá a chamada, que será enviada para o GK C.

No algoritmo, o atraso para envio do LCF por um GK_i será dependente da utilização U(GK_i), dada por:

$$U(GK_i) = U_i = \frac{X_i}{C_i - Y_i} \quad (1),$$

Esta utilização é a fração de chamadas externas em andamento sobre o número de canais de voz não ocupados com chamadas internas. Na fórmula (1), C_i representa capacidade de encaminhar chamadas simultâneas, sendo a soma das capacidades dos *gateways* conectados ao GK_i; X_i é o número de chamadas externas em andamento; e Y_i é o número de chamadas internas em andamento. Além disso, o valor de *i* indica o GK para o qual a utilização está sendo calculada. Temos sempre X_i ≤ C_i - Y_i. Quando todos os canais de voz estiverem ocupados, C_i = Y_i + X_i, e o *gatekeeper* não retornará LCF, pois não pode mais receber chamadas. No caso de C_i = Y_i e X_i = 0, quando todas as chamadas em andamento são internas, a utilização ficará indeterminada e será assumido o valor 1.

A equação (1) foi escolhida por representar simples e adequadamente o compromisso voluntário de cada instituição de completar chamadas externas, e caso a utilização fosse calculada segundo uma outra fórmula, isso não afetaria o algoritmo em si, mas apenas a prioridade ou ordem de recepção das chamadas num determinado contexto de chamadas internas e externas.

Seja um POP com *n* instituições conectadas, onde GK₁ é o GK mais próximo, e GK_n é o mais distante. O POP é o ponto comum de passagem das primitivas de sinalização com os GKs chamados, seja elas provenientes do DGK ou do GK chamador. Sejam: τ_i, o atraso unidirecional entre o POP e o GK_i; τ_{ni} = τ_n - τ_i, a diferença de atraso ao POP entre GK_n e GK_i; C, a capacidade máxima de canais de voz em um determinado GK; LCF_i, o *location confirm* emitido pelo GK_i; D_i(U_i), o atraso para envio do LCF_i em função de U_i.

Quando GK_i atinge uma determinada utilização U_i = A < 1, o algoritmo forçará GK_i a se alinhar com GK_n, ou seja, LCF_i será atrasado de um valor D_i de modo a chegar simultaneamente com LCF_n ao POP, iniciando o processo de balanceamento entre o GK_i e GK_n. Para isso, é preciso ter D_i(A) = T_i = 2τ_{ni}, função da topologia. D_i(A) será designado por T_i, por simplicidade.

O algoritmo calcula D_i segundo a fórmula

$$D_i(U_i) = \frac{T_i \cdot U_i}{A} \quad (2),$$

fazendo com que o atraso varie linearmente com a utilização. Esta dependência linear é suficiente e adequada, como será mostrado na seção 4. Quando a utilização for 1, o atraso sofrido será de T_i/A , como indicado no gráfico da Figura 4, que representa a equação (2). Com $U_i < A$, $\forall i$, GK_n certamente não recebe chamadas, pois elas são enviadas a algum GK mais próximo do POP. À medida que as utilizações chegam a A , os GKs se alinham com GK_n , e as confirmações de chamadas são enviadas de forma mais demorada, inclusive pelo próprio GK_n , que passa a usar também o atraso adicional.

O valor de A será o mesmo para todos os GKs, a princípio. Todavia, caso uma instituição resolva utilizar um valor acima deste especificado, ela poderá fazê-lo, mostrando estar propensa a receber uma porcentagem maior de ligações externas.

O valor de A não deve ser demasiadamente pequeno a ponto de provocar um valor exagerado de T_i/A , que seria o atraso máximo adicional a ser impingido ao LCF. Todavia, como nos cenários reais do serviço `fone@RNP` a diferença de atraso entre GKs é da ordem de milissegundos, a escolha de A não deverá ser crítica. Empiricamente, espera-se que A seja escolhido entre 20% e 50%.

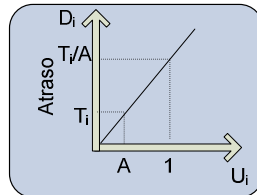


Figura 4. Gráfico de Atraso D_i x Utilização U_i

A Figura 5 apresenta três GK_i s com atrasos bem variados ao POP, e ela será usada para explicar a operação do algoritmo. Os GK_i s têm capacidade de 4 canais de voz, sendo inicialmente o número de chamadas externas e internas iguais a zero, sem atraso para envio dos LCFs. Neste exemplo, será assumido $A = 50\%$.

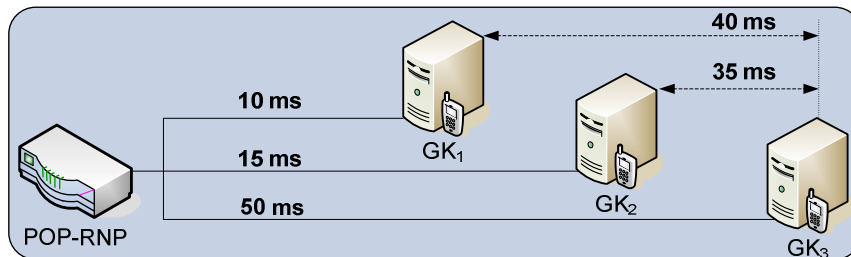


Figura 5. Topologia exemplo

Quando se tentar estabelecer a primeira chamada, o DGK enviará um LRQ para cada um dos três GKs, sendo que o LRQ destinado ao GK_1 chegará primeiro, pois os outros GKs estão mais distantes. LCF_1 chegará primeiro ao GK chamador e, assim, a chamada será encaminhada para GK_1 . Após esta primeira chamada, U_1 será de $1/4$ e o próximo LCF_1 será atrasado de 40 ms, como mostrado no gráfico da Figura 6a.

Quando ocorrer uma segunda chamada externa, LCF_2 será enviado primeiro e chegará ao POP-RNP antes que os outros, fazendo com que a chamada seja encaminhada para GK_2 e não para GK_1 , como ocorreria na ausência do algoritmo.

A utilização do GK₂ que era de zero passará a ser de 1/4, e o próximo LCF₂ enviado por esse GK será atrasado de 35 ms. Isso é mostrado no gráfico da Figura 6b.

O LRQ de uma terceira chamada externa chegará primeiro no GK₁, que atrasará o envio do LCF em 40 ms. O envio do LCF₂ sofrerá um atraso de 35 ms, que, somado aos 5 ms do seu percurso totalizará 40 ms. Isso fará com que o LCF₂ seja enviado ao mesmo tempo do LCF₁, porém, como GK₁ está mais próximo do POP, LCF₁ chegará 5 ms antes no GK chamador, fazendo com que o GK₁ receba sua segunda chamada. Com essa segunda chamada externa a utilização do GK₁ pela fórmula (1) será de 1/2, e assim o envio do próximo LCF₁ será atrasado de 80 ms, conforme mostrado na Figura 7a.

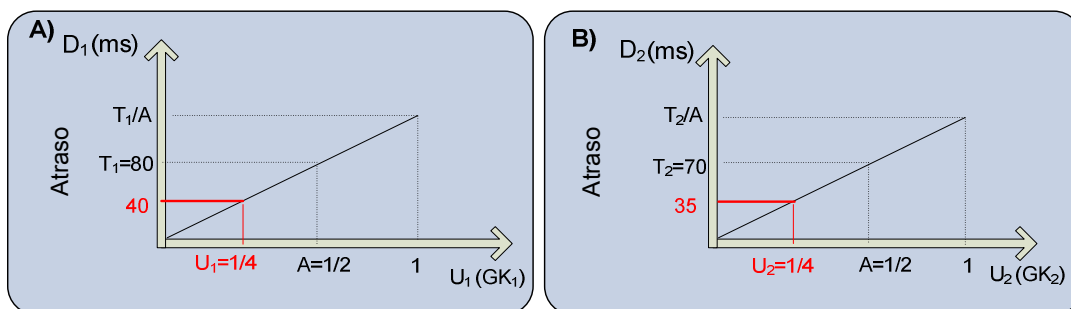


Figura 6. Utilização após a primeira e segunda chamadas externas

O LRQ de uma quarta chamada externa chegará antes no GK₁ e o envio do seu LCF será atrasado 80 ms. Quando o GK₂ receber o LRQ desta quarta chamada, 5 ms depois de GK₁, o envio do seu LCF será atrasado de apenas 35 ms e chegará ao GK originador com 35 ms de folga em relação aos LCFs de GK₁ e de GK₃. Apesar de LCF₃ ser enviado ao mesmo tempo que LCF₂, ele está 35 ms mais distante em relação a GK₂. Assim, esta quarta chamada será enviada para o GK₂, cuja utilização passará a ser de 1/2, com um atraso para envio do próximo LCF de 70 ms, como mostrado na Figura 7b.

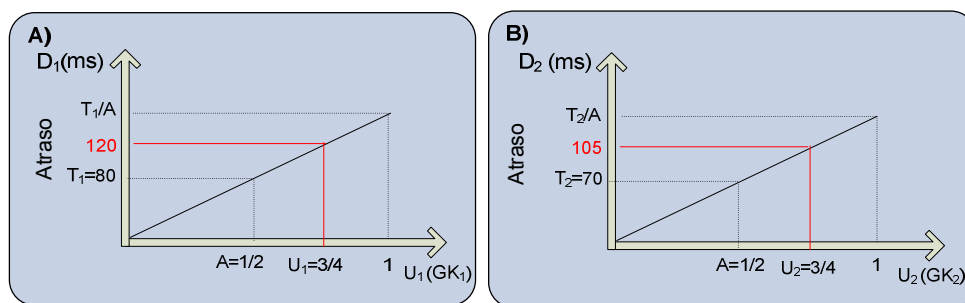


Figura 7. Utilização para as próximas chamadas externas

Quando a quinta chamada chegar, o LCF do GK₁ será atrasado de 80 ms, o LCF do GK₂ será atrasado de 70 ms e o LCF de GK₃ será gerado de imediato. O LCF dos três GKs passarão pelo POP-RNP ao mesmo tempo e chegarão aproximadamente ao mesmo tempo no GK chamador. Um deles chegará primeiro.

Se GK₁ receber a chamada, ele passa a ter uma utilização de 3/4, e o atraso para envio do LCF será de 120 ms. No caso de GK₂ receber a chamada, o atraso será de 105 ms. Será arbitrado que o GK₁ receba essa chamada. Assim, quando um sexto LRQ for enviado, os GKs 2 e 3 enviarão os seus LCFs, que chegarão juntos no GK chamador,

com 40 ms de folga sobre o LCF do GK₁. Para esta sexta chamada é arbitrado, nesse exemplo, que o GK₂ receberá a chamada, e assim o seu atraso para envio do LCF será de 105 ms, como mostrado na Figura 7b.

As chamadas seguintes serão encaminhadas para o GK₃, pois os GKs 1 e 2 terão os seus LCFs tão atrasados que eles chegarão depois no GK chamador. Como o GK₃ é o último, ele não tem uma reta de utilização, e, assim, as próximas chamadas externas não são balanceadas com os outros GKs, e seu *gateway* acabará saturado e as chamadas serão descartadas. Para evitar esta situação, foi concebido um GK virtual, mais distante do POP do que todos os outros, o que permite que o GK real mais distante tenha suas chamadas externas também balanceadas com os outros GKs. Resta obter a restrição no atraso ao POP para este GK virtual, para que o balanceamento ocorra adequadamente.

3.1. Posicionamento do GK Virtual

Seja δ_{rede} , a variação máxima de atraso na comunicação entre os GKs e o POP, devido a variações de carga na rede. Seja τ_v , o atraso do POP ao GK virtual. Será preciso determinar a restrição no valor de τ_v para garantir o balanceamento das chamadas. A situação mais crítica para o balanceamento ocorre quando todos os GKs operam numa certa utilização acima de A , exceto GK₁ e GK_n, que estão com um número a menos de chamadas, e não existem chamadas internas estabelecidas, apenas externas. Nestas condições, supõe-se que a chamada mais recente tenha sido encaminhada a GK_n. Para que a próxima chamada seja encaminhada para GK₁, é necessário que seja satisfeita a desigualdade $\frac{2(\tau_v - \tau_1)U_1}{A} < 2(\tau_n - \tau_j) + \frac{2(\tau_v - \tau_n)U_n}{A}$ (3). O lado esquerdo corresponde ao atraso para a geração de LCF₁ a partir da chegada do LRQ e o lado direito indica quando LCF_n aconteceria na posição de GK₁. Se o LCF_n acontece depois, então a chamada será encaminhada para GK₁, como desejado. Observando que $U_n = U_1 + 1/C$, obtém-se, após simplificar, $(\tau_v - \tau_n) > C(U_1 - A)\tau_{n1}$ (4). Fazendo $U_1 - A = 1$, pode-se obter um limite inferior para τ_v dado por

$$\tau_v \geq \tau_n + C\tau_{n1} + \delta_{rede} \quad (5).$$

Usando esta condição no posicionamento do GK virtual, o atraso máximo adicional que um LCF pode sofrer é dado por

$$\text{Atraso adicional máximo} = \frac{(C+1)\tau_{n1} + \delta_{rede}}{A} \quad (6).$$

Para um exemplo numérico, usando $C=30$, $A = 0,40$, $\tau_{n1} = \delta_{rede} = 5\text{ms}$, obtém-se um atraso adicional de 400 ms. Convém salientar que essa situação só irá ocorrer quando todos os GKs estiverem na saturação, o que não será frequente numa rede com boa engenharia de tráfego.

3.2. Determinação dos Atrasos ao POP

Inicialmente cada *gatekeeper* de uma região terá que conhecer o atraso do percurso de cada GK da sua região até o POP-RNP, e para a viabilização do algoritmo foram estudadas algumas possíveis alternativas. A primeira forma é utilizar um medidor no DGK, que realizaria as medidas de atraso aos GKs utilizando *PING*, e, num segundo passo, enviaria para os GKs as medidas obtidas em campos de extensão do usuário nas

mensagens de LRQ. A vantagem deste procedimento é que o DGK tem conhecimento completo dos IPs e prefixos de todos os GKs, além de processar as mensagens LRQ, tornando simples a implementação desta solução. A desvantagem é que o DGK pode estar muito distante do POP correspondente, e as medidas podem ter uma ordem de grandeza bem maior que a diferença entre os atrasos dos GKs, induzindo a erro, se a variância de atraso na rede for grande.

A segunda forma é utilizar um medidor nos POPs, que poderia obter o endereço IP e prefixos dos *gatekeepers* de uma região no DGK, e realizar as medidas utilizando *PING*, e, num segundo passo, enviar para os GKs as medidas obtidas. A vantagem desta solução seria a maior precisão na medida do atraso do POP aos GKs. A desvantagem é que o repasse das informações teria que ser feito fora da sinalização H.323, possivelmente usando a porta de gerência do *gatekeeper* e/ou aplicação rodando no GK, o que tem implicações de segurança para acesso privilegiado.

Uma terceira forma seria tentar realizar as medidas a partir de cada GK_i . Inicialmente a relação dos GK_i da região é obtida do DGK. A partir desse momento, cada GK_i de uma região utilizaria o *PING* para medir o seu atraso até os outros GK_i da sua região. Estas medidas deveriam ser obtidas nos vários GKs em um mesmo intervalo de tempo, para evitar erros grosseiros, o que é uma desvantagem e um complicador.

A quarta forma envolve a própria sinalização LRQ entre o DGK e o *gatekeeper* que pretende iniciar uma chamada destinada à RTFC. Assim que um GK_i enviar um pedido de localização para o DGK, uma mensagem chamada RIP (*Request in Progress*) seria enviada do DGK para o *gatekeeper* que enviou o LRQ. Dessa forma, esse GK_i conhecerá o RTT entre ele e o DGK. Esse RTT será subtraído do tempo que o LCF de cada um dos outros GK_i levar para chegar, obtendo assim o tempo de ida e volta de cada GK_i até o POP. Esse procedimento seria falho se houver rotas fortemente assimétricas no *backbone*, mas isso não é o caso hoje em dia.

4. Cenários simulados

Nesta seção, são apresentados os cenários utilizados nas simulações no MatLab e os gráficos dos resultados. Os gráficos apresentam a variação da métrica de utilização definida na equação (1) ao longo do tempo, para os vários GKs.

O primeiro cenário simulado, mostrado na Figura 8, apresenta três GKs numa mesma cidade (prefixo=10), e igualmente distanciados do POP-RNP de 100 ms.

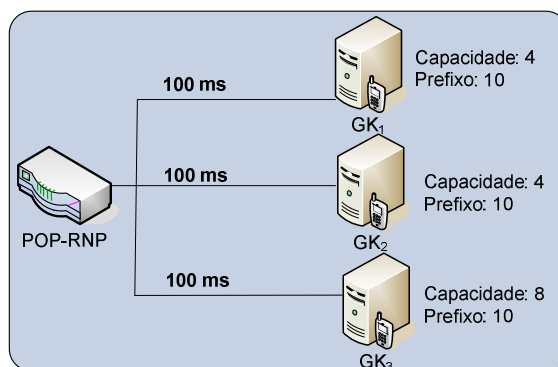


Figura 8. Cenário da primeira simulação

Os *gatekeepers* GK_1 e GK_2 têm capacidade de 4 canais de voz, enquanto GK_3 tem capacidade de 8. Na simulação são disparadas 15 chamadas, com um tráfego de fundo de uma chamada interna nos *gateways* dos GKs 1 e 2, e não existirá chamadas internas no GK_3 . Para esse cenário o valor estipulado de A , a taxa de utilização para alinhamento dos GKs será de 0,25. O objetivo é verificar o equilíbrio no encaminhamento de chamadas, quando os GKs têm a mesma capacidade, e estão igualmente distantes do POP.

Na simulação do cenário da Figura 8, todos os canais de voz dos *gateways* foram ocupados com chamadas, e a situação de chamadas não completadas por saturação de um *gateway* é evitada. A Figura 9 mostra a evolução da métrica de utilização em cada GK após o estabelecimento das chamadas.

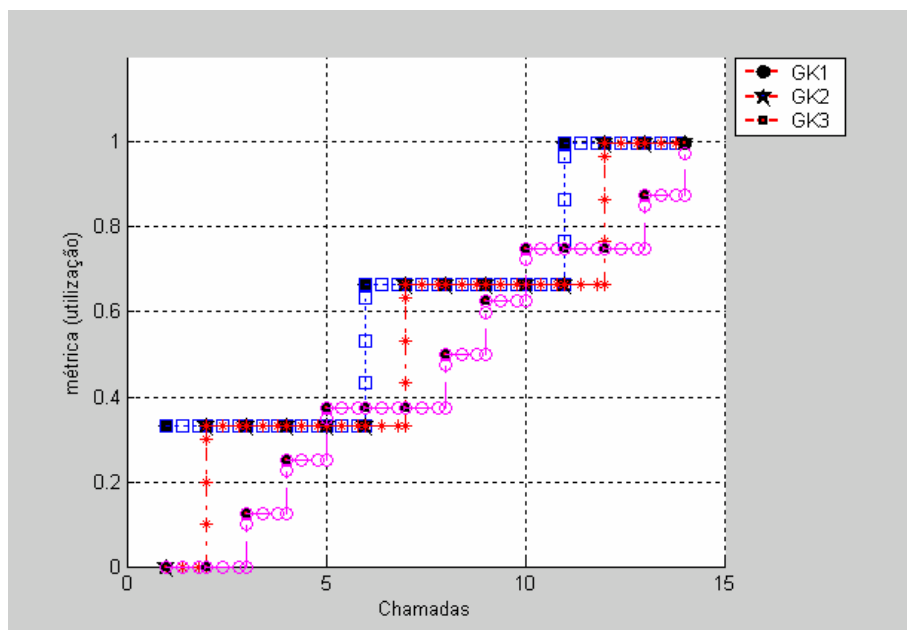


Figura 9. Resultado da primeira simulação

Na Figura 9, é mostrado que as métricas dos três GKs tendem a se aproximar e, na última chamada, as utilizações convergem para 1, como esperado. A atuação do algoritmo para forçar o equilíbrio pode ser observada através da oscilação dos valores de utilização, mas que tendem sempre a convergir em torno da diagonal do gráfico, mostrando assim o balanceamento.

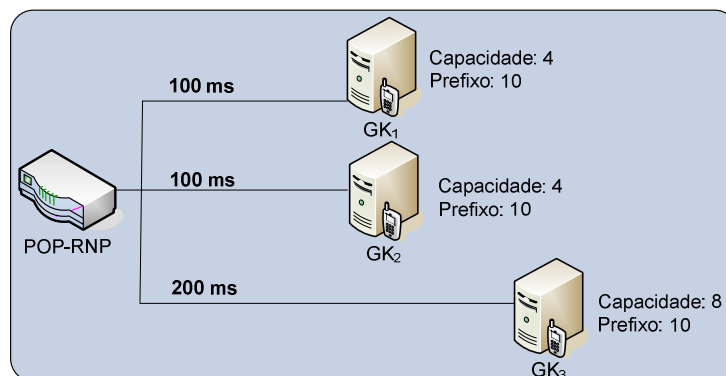


Figura 10. Cenário da segunda simulação

No segundo cenário, mostrado na Figura 10, GK₃ está afastado de 200 ms do POP, e os GKs 1 e 2 continuaram afastados do POP de 100 ms. Na simulação continuam a ser disparadas 15 chamadas, com um tráfego de fundo de uma chamada interna nos *gateways* dos GKs 1 e 2, e não existirão chamadas internas no GK₃, como no exemplo anterior. Além disso, o valor de *A* será mantido em 0,25.

Nesse cenário, as utilizações dos canais de voz tendem a ficar iguais, ou seja, o mesmo comportamento do cenário anterior é observado. Porém, o GK₃ demora um pouco mais a se alinhar com os outros, pois ele possui mais canais de voz.

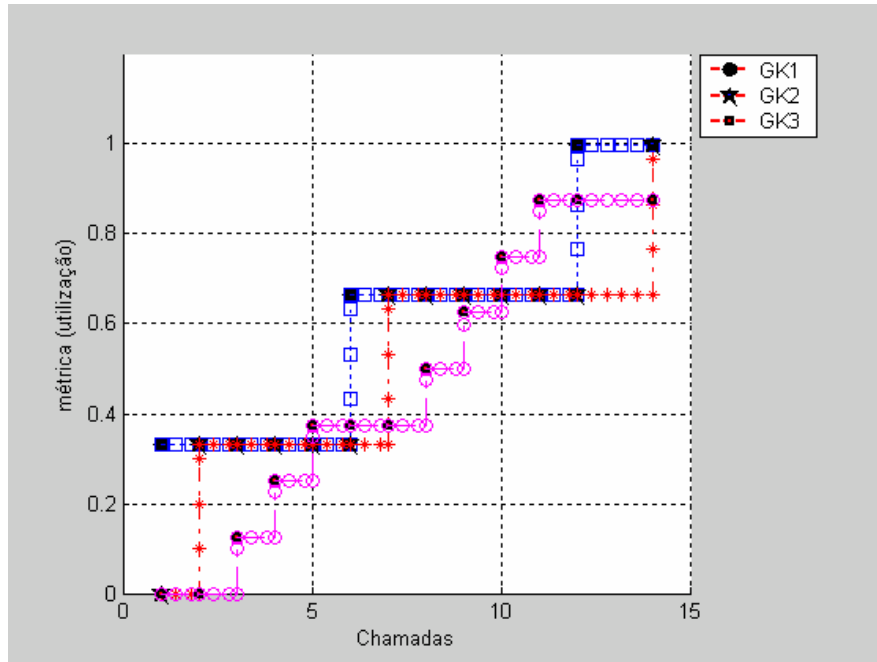


Figura 11. Resultado da segunda simulação

O próximo cenário é mostrado na Figura 12, e ele apresenta três GKs, agora com distâncias diferentes em relação ao POP-RNP. A capacidade de cada um é diferente, assim o resultado poderá mostrar o comportamento do algoritmo quando a capacidade e distâncias do POP são diferentes, o que seria uma realidade no serviço *fone@RNP*, pois as instituições necessariamente não possuem uma disponibilidade de recursos homogênea.

Para este cenário a taxa de utilização para alinhamento foi modificada para 0,20, forçando os GKs a atingirem o equilíbrio com uma quantidade menor de chamadas. O tráfego de fundo foi de uma chamada interna para o GK₁, duas chamadas internas para o GK₂ e três chamadas internas para o GK₃.

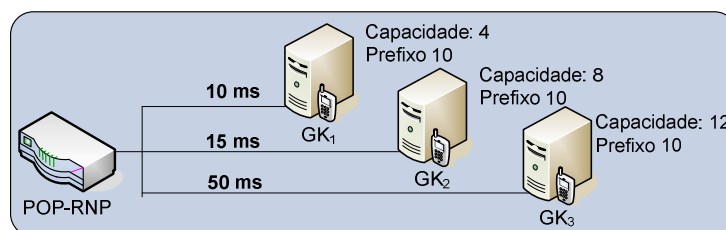


Figura 12. Cenário da terceira simulação

A Figura 13 mostra o resultado da terceira simulação, onde foram disparadas 21 chamadas. Nota-se que para esse cenário ocorre o balanceamento das chamadas, assim como aconteceu nas simulações anteriores.

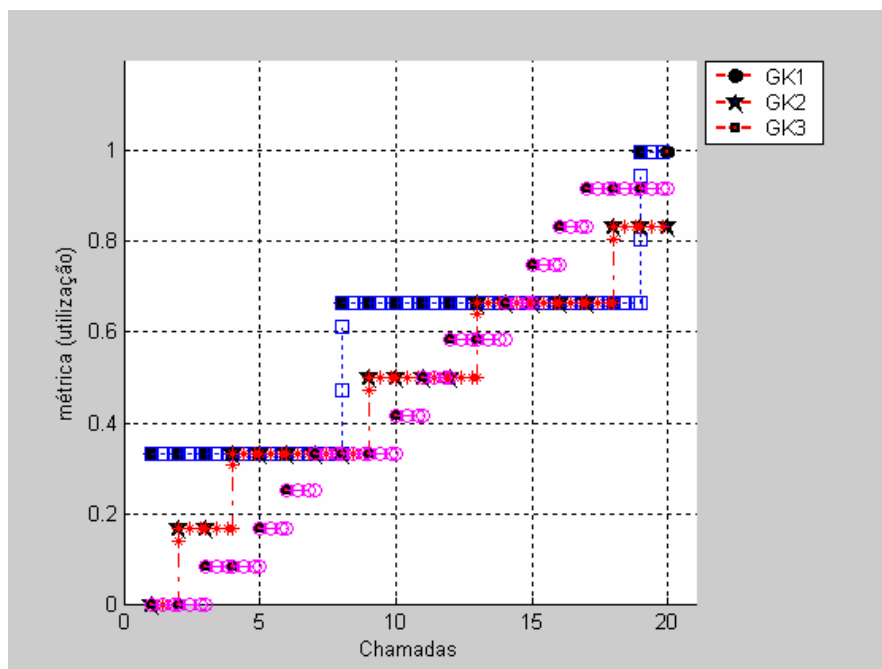


Figura 13. Resultado da terceira simulação

Como o GK₁ possui uma quantidade menor de canais de voz ele fica muito tempo sem receber chamadas, e isso é observado na Figura 14 porque a sua utilização se mantém constante durante várias chamadas.

Para avaliar a situação em que chamadas são terminadas, assuma na Figura 13 que os GKs estão em equilíbrio, com 15 chamadas externas em andamento. No caso de várias chamadas serem repentinamente terminadas em um GK, a utilização desse GK diminuiria, e, pelo algoritmo implementado, o atraso para envio do LCF desse GK voltaria a um estado anterior, aumentando sua prioridade de receber chamadas. Esse GK, que teve as suas chamadas terminadas repentinamente, receberia as próximas chamadas, que voltariam a ser balanceadas quando a sua métrica alcançasse o equilíbrio com a de outro GK. Dessa forma, não é necessário acompanhar o término de chamadas e o algoritmo se mostra robusto para diferentes cenários.

5. Conclusão

Um algoritmo distribuído para balanceamento de chamadas H.323 destinadas à rede pública de telefonia dentro do cenário do serviço fone@RNP, onde várias instituições interconectadas a um POP completam chamadas para uma mesma cidade, foi apresentado. O algoritmo também se aplica a qualquer situação onde a aceitação de chamadas depende do retorno de mensagens enviadas de um ponto central, como com o uso de DGK, em H.323, e em SIP, quando se utiliza o encaminhamento múltiplo para estabelecimento de chamada por servidor proxy. Dessa forma, o algoritmo proposto pode ser aplicado a outras topologias diferentes daquela do serviço fone@RNP.

A métrica representada pela fração de chamadas externas em andamento sobre o número de canais de voz não ocupados com chamadas internas é utilizada para balanceamento. A partir de um determinado valor da métrica as confirmações de chamadas são atrasadas e o balanceamento é alcançado. O algoritmo usa o artifício de colocação de um GK virtual e a restrição ao posicionamento deste GK, que pode afetar o atraso na admissão das chamadas. Resultados de simulações demonstram a eficácia do algoritmo em diferentes cenários. Nota-se, através da simulação, que a velocidade de convergência dos valores de utilização dos canais de voz dos GKs é influenciada pela capacidade dos *gateways VoIP/PBX* e pela distância dos GKs até o POP. Todavia, o mecanismo é bastante robusto, pois opera adequadamente frente a localizações variadas dos GKs institucionais e diferentes demandas de tráfegos interno e externo.

No momento, visando o uso em produção, procura-se aprimorar o algoritmo para incorporar procedimentos automáticos de reavaliação dos atrasos do POP aos GKs e incorporar otimizações para minorar o efeito do atraso adicional na aceitação das chamadas, principalmente após o alinhamento com o GK mais distante ter acontecido.

6. Bibliografia

- [1] ITU-T H.323 Telecommunication Standardization Sector of ITU (07/2003), series H: AudioVisual and Multimedia Systems.
- [2] Zhou, Q., Shirmohammadi, D. e Liu Edwin, W.-H., "Distribution Feeder Reconfiguration For Service Restoration And Load Balancing", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [3] Ghanem, J., "Implementation of Load Balancing Policies in Distributed Systems", The University of New Mexico, New Mexico, tese de mestrado. June, 2004. Site <http://www.eece.unm.edu/lb/papers/jeanthesis.pdf> consultado em fevereiro de 2006.
- [4] Floyd, S. e Jacobson V., "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on networking. vol I . N^o 1. August 1993.
- [5] Riedl, R. e Richter, L., "Classification of Load Distribution Algorithms", Department of Computer Science University of Zurich, Zurich, Switzerland, 1996 IEEE.
- [6] Harchol-Balter, M. e Downey, A., "Exploiting Process Lifetime Distributions for Dynamic Load Balancing", University of California, Berkeley, ACM Transactions on Computer Systems, August 1997, Pages 253–285.
- [7] Zhang, L., "Scheduling Algorithm for Real-Time Application in Grid Environment", Department of Computer Science and Technology, Guangdong, China. IEEE SMC, 2002.
- [8] Rhee, W.-S., Lee, J.-H., Yu, J.-H. e Kim, S.-H., "Scalable Quasi-Dynamic-Provisioning-Based Admission Control Mechanism in Differentiated Service Networks", ETRI Journal, Volume 26, Number 1, February 2004.
- [9] IETF – RFC 3261, "SIP: Session Initiation Protocol", Junho 2002.