

# Neutralidade de Rede com Modelos de Alocação de Banda e Comportamentos G-BAM – Análise de Compatibilidade

David S. S. Barreto<sup>1</sup>, Rafael Freitas Reale<sup>1,2</sup>, Joberto S. B. Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Salvador (UNIFACS) Salvador – BA – Brasil

<sup>2</sup> Instituto Federal da Bahia (IFBA) Campus Valença – BA – Brasil

davidssb@hotmail.com, reale@ifba.edu.br, joberto.martins@unifacs.br

**Abstract.** *Network neutrality (net neutrality) is an important management aspect of network infrastructures providing “services”. Net neutrality is particularly relevant for Internet Service Providers - ISPs due to the ever increasing and critical use of “networks”, internet included, as a commodity asset by our society. In brief, net neutrality aims isonomy in network treatment for Internet service delivery. This paper introduces the net neutrality and reasonable traffic management concepts and simulates the MAM, RDM and AllocTC-Sharing behaviors towards an analysis and evaluation of the effectiveness and compliance of using BAMs (Bandwidth Allocation Models) for net neutrality. From the technical point of view, using BAM as a traffic management practice aims to provide an “intelligent” isonomy for packet processing approach independently of its content. The results indicate that the AllocTC-Sharing behavior is appropriate and compatible with the imposed net neutrality rules.*

**Resumo.** *A neutralidade de rede é um importante aspecto de gerência das infraestruturas de rede que, de maneira geral, proveem “serviços”. A neutralidade é particularmente relevante para as prestadoras do serviço de acesso à internet (ISPs). Isso na medida em que as “redes”, a internet inclusa, são nos dias atuais um insumo de uso crítico e crescente por parte da sociedade. Em resumo, a neutralidade de rede visa um atendimento isonômico aos serviços transportados pela rede. Este artigo discute o conceito de neutralidade de rede e de gerenciamento de tráfego razoável e simula a operação dos comportamentos MAM, RDM e AllocTC-Sharing (Alloc) visando a análise da efetividade e conformidade do uso de BAMs (Bandwidth Allocation Models) para a neutralidade de rede. Do ponto de vista técnico, a utilização de um BAM como mecanismo de gerenciamento de tráfego visa implementar uma isonomia “inteligente” para o tratamento do tráfego independentemente do seu conteúdo. Os resultados indicam que o comportamento AllocTC-Sharing é apropriado e compatível com as regras de neutralidade de rede impostas.*

## 1. Introdução

O termo *net neutrality*, amplamente difundido na literatura em língua inglesa, tem duas traduções no Brasil: “neutralidade da rede” [RAMOS 2015], no qual a palavra “rede” é associada à Internet; e “neutralidade de rede” [LEI Nº 12.965 2014], no qual “rede” é associada às estruturas de rede dos ISPs (*Internet Service Providers*) que fazem parte do

conglomerado de redes que é a Internet. Este trabalho opta por utilizar o termo “neutralidade de rede”.

O debate em torno da neutralidade de rede tomou forma nos Estados Unidos da América e seguiu em outros lugares como Chile, Brasil e Europa dentro de um contexto de preocupações sobre os modelos de negócios dos grandes ISPs, que lidam com o aumento exponencial do volume de tráfego, diferentes tipos de serviços trafegados com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) e a crescente oferta de conteúdo por empresas provedoras de serviços, aplicações e conteúdo (CAP - *Content and Application Provider*).

Um das questões centrais deste debate era a habilidade dos ISPs praticarem tratamento diferenciado para o tráfego da Internet. Neste sentido, a fim de limitar a capacidade dos ISPs de interferir no tráfego de aplicações, conteúdos e serviços em suas redes, normativos de diversos países impuseram limites para o uso de práticas de gerenciamento de tráfego/rede, como inspeção de pacotes, *traffic shapping* e mecanismos de gerenciamento de congestionamento. Como efeito prático desses normativos, qualquer prática que vise o gerenciamento de recursos de rede (largura de banda, *buffer*, etc.) precisa atender aos limites estabelecidos.

O conceito de neutralidade de rede é amplo e envolve perspectivas econômicas, ideológicas, sociais e técnicas dos quatro principais atores desta discussão: os ISPs, os CAPs, os usuários finais e as Autoridades Reguladoras Nacionais - ARNs. As interações entre os três primeiros atores são fortemente governadas por interesses econômicos e cabe às ARNs estipular regras com o objetivo de preservar e promover a inovação e o crescimento econômico que a Internet possibilita, bem como manter o ambiente descentralizado de interação social, cultural e político [SCHEWICK 2015].

Não existe uma conformidade de definição para o termo neutralidade de rede. O termo tem sido utilizado de forma ampla para descrever o livre acesso à Internet, o que, para autores como Tim Wu [WU 2003], não é muito preciso. Wu e outros autores [JORDAN 2007], [BEREC 2011] utilizam este termo para caracterizar o tratamento igualitário de aplicações, conteúdos e serviços que trafegam pela internet e a importância da transparência nas práticas de gerenciamento de tráfego. A definição do Órgão Regulador da União Europeia [BEREC 2011] se apresenta como uma das mais simples e direta: “a neutralidade de rede é um princípio a partir do qual todos os pacotes são tratados de forma igual através de uma infraestrutura IP”.

Embora esta seja uma regra de não discriminação, a discriminação de serviço é uma questão importante nestes normativos [SCHEWICK 2015], pois é preciso garantir a funcionalidade das diferentes aplicações que se utilizam da Internet. Tais aplicações têm uma grande variedade de requisitos de QoS e satisfazê-los adequadamente (num cenário de recursos escassos) sem aplicar diferenciação de serviço é uma tarefa no mínimo desafiadora. No contexto da neutralidade de rede, o problema a ser endereçado do ponto de vista dos ISPs é o atendimento aos diferentes requisitos de QoS das aplicações (principalmente em ocasiões de congestionamento) de forma compatível com as regras vigentes. Por outro lado, do ponto de vista dos usuários das redes, CAPs inclusos, o resultado esperado é o fornecimento do serviço com qualidade, sem interferência na escolha dos usuários e sem distorções na competição.

Este artigo propõe a utilização do Modelo de Alocação de Banda Generalizado (*Generalized Bandwidth Allocation Model – G-BAM*), especificamente com o comportamento (*behavior*) AllocTC-Sharing [REALE, NETO e MARTINS 2011], como uma prática de gerenciamento de tráfego aplicável a ISPs em redes MPLS/DS-TE (*Multiprotocol Label Switching with Traffic Engineering*) com o propósito de contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, dentro das regras de neutralidade de rede. Este comportamento agrega uma característica oportunista para a alocação de largura de banda que permite empréstimos mútuos entre Classes de Tráfego (CTs) de baixa e alta prioridade e só interfere na topologia de LSPs (*Label Switched Paths*) existentes em situações de conflitos resultantes da ausência de largura de banda (congestionamento).

O artigo está organizado da seguinte forma: Os trabalhos relacionados estão presentes na seção 2. Na Seção 3 é apresentado um breve descritivo do G-BAM e do comportamento AllocTC-Sharing. Na Seção 4 são apresentados os conceitos de neutralidade de rede e de gerenciamento de tráfego razoável. Na seção 5 é apresentada uma avaliação dos resultados obtidos através de simulação e, por fim, conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Alguns trabalhos oferecem reflexões a partir de uma abordagem técnica, explicando como a neutralidade de rede e discriminação de tráfego (baseada ou não em QoS) podem alcançar os mesmos objetivos e exploram possíveis soluções que envolvem a gestão de recursos de rede.

Wu [WU 2003] não apresenta uma solução técnica, mas mostra um princípio implementável de neutralidade de rede e descreve como seria o comportamento das operadoras neste contexto, além de refletir sobre questões de neutralidade de rede utilizando discriminação de tráfego associada à largura de banda. O autor acredita que o gerenciamento de largura de banda está alinhado com a neutralidade de rede. Certas classes de aplicações nunca vão funcionar corretamente a menos que largura de banda suficiente e QoS sejam garantidas. Ele também acredita que se as operadoras apenas gerenciarem a banda disponível o resultado é um ambiente mais competitivo.

Schewick [SCHEWICK 2015] propõe oito possíveis regras de neutralidade de rede. Uma abordagem específica dada por van Schewick permite a discriminação entre classes de aplicações que não são iguais. Esta regra permitiria que os ISPs tratassem classes de aplicações de forma diferente, desde que elas tratassem tipos de tráfegos similares da mesma forma, por exemplo, classificando-os dentro de uma mesma CT.

Enquanto Jordan [JORDAN 2007] propõe uma política de neutralidade de rede com a finalidade de proibir comportamento anti-concorrencial sem restringir formas desejáveis de gestão da rede, [WÓJCIK 2011] apresenta uma solução técnica para o problema da neutralidade utilizando uma arquitetura QoS. Segundo o autor, a operação da rede permaneceria neutra, ainda que oferecesse diferenciação de serviço.

## **3. Modelos de Alocação de Banda e o G-BAM**

Em resumo, um BAM arbitra a alocação de largura de banda (recurso) para os usuários de uma rede IP/MPLS/DS-TE [REALE, MARTINS, *et al.* 2015]. Por usuário, entende-

se qualquer aplicação, serviço ou usuário final capaz de solicitar uma LSP para o tráfego de seus dados.

Existem 2 modelos de alocação de banda considerados mais básicos: MAM (*Maximum Allocation Model*) e RDM (*Russian Dolls Model*) [REALE, BEZERRA e MARTINS 2014]. O AllocTC-Sharing foi proposto em [REALE, NETO e MARTINS 2011] como mecanismo capaz de melhorar os níveis de atendimento ao tráfego. Cada modelo de alocação de banda trabalha com um conjunto de Classes de Tráfego (CTs), tipicamente entre 3 e 7. Existe uma prioridade definida para cada CT e, para cada CT é configurada a banda máxima que pode ser utilizada para as aplicações desta classe de tráfego. Esta banda máxima que o modelo pode alocar é denominada de restrição de banda - BC (*Bandwidth Constraint*) [LE FAUCHEUR e LAI 2003].

O que os diferentes modelos existentes implementam é a forma como a largura de banda disponível pode ser compartilhada entre as diferentes CTs. O modelo MAM assume que não existe compartilhamento. O modelo RDM permite o compartilhamento da banda não utilizada pelas CTs de alta prioridade por CTs de baixa prioridade (HTL – *High-to-Low*). O AllocTC-Sharing, por sua vez, permite que CTs de maior prioridade possam também utilizar a banda disponível e não utilizada pelas CTs de menor prioridade, lançando mão da estratégia de compartilhamento LTH (*Low-to-High*), em complemento ao HTL.

Assim sendo, cada modelo implementa efetivamente um “comportamento” na forma como a largura de banda é alocada e o modelo G-BAM (*Generalized BAM*), generaliza todos os possíveis comportamentos existentes num único modelo através de uma configuração de parâmetros. Ou seja, o G-BAM permite que qualquer comportamento BAM seja utilizado na gestão da alocação de banda na rede através de uma configuração adequada de parâmetros [REALE, BEZERRA e MARTINS 2014].

A operação geral do AllocTC-Sharing, foco desta proposta, pode ser resumida da seguinte maneira: (1) uma nova requisição de LSPs resulta em estabelecimento de LSP se houver banda disponível no enlace, com ou sem necessidade de compartilhamento (LTH e/ou HTL); (2) no caso de não existir largura de banda disponível no enlace, o algoritmo tenta devolver banda emprestada previamente a CTs de maior prioridade (devolução de LSP estabelecida) ou devolver banda emprestada previamente a CTs de menor prioridade (preempção de LSP estabelecida) até o valor extrapolado do respectivo BC, nesta sequência; (3) caso não exista banda suficiente a ser devolvida que possibilite o estabelecimento da LSP requisitada, a requisição de LSP é bloqueada.

#### **4. Discriminação de tráfego no escopo da neutralidade de rede**

A regra de não discriminação não proíbe a utilização de práticas de gerenciamento de rede, incluindo medidas de gerenciamento de tráfego. Algumas nações publicaram normativos sobre neutralidade de rede, como o Chile, Brasil, União Europeia, Japão, Singapura e Estados Unidos da América [WEBB e HENDERSON 2012]. Três regras majoritariamente comuns podem ser destacadas:

- Proibição de bloqueio de conteúdo legal, aplicativos e serviços;
- Permissão para utilização de mecanismos de gestão de rede/tráfego, desde que de forma razoável, em circunstâncias definidas; e

- Necessidade de divulgação de informações críticas relativas às práticas de gestão de rede, pelas operadoras.

Como dito, muitos normativos preveem a utilização de práticas ou mecanismos de gerenciamento de rede/tráfego desde que sejam “razoáveis” [BEREC 2016], [FCC 2015] ou “justificáveis” [DECRETO Nº 8.771 2016]. Estes mecanismos são considerados desvios (ou exceções) à regra de não discriminação e não são considerados como infração à neutralidade de rede.

No contexto da neutralidade de rede, o termo "gerenciamento de rede" refere-se a práticas cujo objetivo é manter, proteger e assegurar o funcionamento eficiente de uma rede. Segundo [BEREC 2016], o objetivo de um gerenciamento de tráfego razoável é contribuir para a utilização eficiente dos recursos da rede e para a otimização da qualidade global da transmissão, respondendo objetivamente aos diferentes requisitos de QoS de determinadas categorias de tráfego. Para se qualificar como gerenciamento de rede/tráfego “razoável” ou “justificável”, a prática deve atender a certos requisitos, como: (1) alcançar um propósito de gerenciamento legítimo, (2) ser estreitamente desenhada para alcançar este propósito, (3) ser transparente, (4) ser não discriminatória, (5) ser proporcional, (6) ser baseada em considerações técnicas e não comerciais, (7) não monitorar o conteúdo dos pacotes, e (8) ser excepcional.

Assim sendo, a conformidade com a neutralidade de rede é estabelecida no atendimento tanto à sua regra de não discriminação quanto aos requisitos para qualificação como gerenciamento de tráfego razoável, de acordo com os seguintes perfis de operação:

- Tratamento igualitário do tráfego, como regra; e
- Aplicação de diferenciação de serviço de forma razoável, como exceção.

#### 4.1. Classificação do tráfego

O mapeamento do tráfego em Classes de tráfego (CTs) é o primeiro passo em direção a uma operação de rede alinhada à neutralidade de rede. Do ponto de vista técnico, o mapeamento de aplicações e serviços em CTs visa proporcionar experiências satisfatórias ao usuário sob o ponto de vista de QoS e de QoE (*Quality of Experience*). Representa uma visão puramente técnica de como as aplicações devem usar os recursos de rede. Como exemplo, certas classes de aplicações precisam de um mínimo de largura de banda garantida, enquanto outras classes não. Além disso, algumas classes de aplicações aproveitam a disponibilidade de largura de banda para melhorar a experiência do usuário, adaptando suas taxas de transmissão.

São dois os aspectos principais a considerar em um mapeamento de aplicações em CTs alinhado à neutralidade de rede: primeiro deve-se observar os requisitos mínimos de QoS para cada tipo de tráfego; e segundo, aplicações com requisitos de QoS semelhantes tem que ser agrupadas numa mesma CT, com o objetivo de se garantir uma operação não discriminatória [BEREC 2016]. A classificação do tráfego é comumente realizada pelo ISP por seus próprios métodos. Está fora do escopo deste trabalho avaliar quais mecanismos seriam mais adequados, embora seja vedado monitorar o conteúdo dos pacotes (*Deep Packet Inspection – DPI*) [LEI Nº 12.965 2014].

A Tabela 1 apresenta uma proposta de mapeamento de aplicações em Classes de Tráfego baseada na associação de classes de QoS previstas na Recomendação ITU-T

Y.1541 [ITU-T 2011] com as capacidades de transferência previstas na Recomendação ITU-T Y.1221 [ITU-T 2010]. Por definição, CT2 tem maior prioridade de atendimento do que CT1 e CT0 tem a menor prioridade entre as CTs. A definição da quantidade de CTs e qual tipo de tráfego cada uma delas comporta é essencial na avaliação do caráter não discriminatório da operação da prática de diferenciação de serviço. Desta forma, a classificação de tráfego em três classes de tráfego pode atender aos requisitos de qualificação nº 2, 4 e 6 listados anteriormente.

É claro que a alocação de aplicações e serviços similares em uma CT específica não garante largura de banda para todas as aplicações. Os recursos da rede são, especialmente durante congestionamento, escassos e têm de ser "disputados". Neste ponto, a operação do G-BAM assumirá e apoiará a intervenção no tráfego (aplicação de prioridades para o acesso à largura de banda) de forma alinhada à neutralidade de rede. Em simulação utilizamos a classificação de tráfego proposta, i. e., tratamos classes de aplicações de forma diferente, mas tratamos tráfego semelhante de forma semelhante.

**Tabela 1 – Mapeamento de Aplicações em Classes de Tráfego (CTs)**

Tipo de Aplicação (exemplos)	CT	Tipo de Tráfego
Aplicações web, navegação web, e-mail, transferência de arquivos, outras de característica semelhante.	CT0	Tráfego melhor esforço ( <i>best effort</i> ).
Tempo real, sensíveis à variação do atraso ( <i>jitter</i> ), áudio e vídeo ( <i>streaming</i> , conferência), aplicações interativas, outras de característica semelhante.	CT1	Tempo real e/ou de uso intensivo de largura de banda.
Backup, imagens médicas, realidade virtual, outras de característica semelhante.	CT2	Crítico e/ou de emergência.

## 5. Implementação e avaliação da neutralidade de rede com o uso do comportamento AllocTC-Sharing

### 5.1. Primeiras análises

O propósito do uso de um BAM no contexto deste trabalho é contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, sob a forma da busca pelo atendimento adequado aos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações. Uma consequência da escolha do AllocTC-Sharing é a otimização do desempenho da rede em relação aos BAMs mais básicos. Segundo a [FCC 2015], é considerada legítima a busca pela otimização da performance global da rede e manutenção da qualidade de experiência dos usuários, considerando a variedade de tráfego sendo transportado pela rede. O G-BAM apenas gerencia a largura de banda disponível nos enlaces da rede. Assim, este mecanismo atende concomitantemente aos requisitos nº 2 e 7 para qualificação da prática como gerenciamento de tráfego razoável. O atendimento ao requisito nº 1 é avaliado por intermédio das simulações, detalhadas mais à frente.

Em relação à transparência requisitada (requisito nº 3), isto é, publicidade das práticas de gerenciamento de tráfego, entende-se que é uma obrigação dos ISPs e que seu objeto transcende questões puramente técnicas, como configuração e parâmetros utilizados. Exemplos de medidas de transparência estão listados em [DECRETO Nº 8.771 2016).

Para atender ao requisito nº 4, a operação do G-BAM com o comportamento AllocTC-Sharing deve atender tanto à regra de não discriminação, quanto intervir (excepcionalmente) no tráfego baseado no seguinte conjunto de condutas: (i) situações similares, em termos de requisitos de QoS, devem receber tratamento similar; e (ii) situações diferentes, também em termos de requisitos de QoS, devem receber tratamento diferentes. Para [BEREC 2016], tais condutas também implicam em tratamento não discriminatório. Os resultados das simulações indicam que o AllocTC-Sharing segue estritamente o esquema de classificação de tráfego, baseado na sensibilidade aos requisitos QoS das aplicações (Tabela 1). Esta operação, ao se basear apenas em considerações técnicas, atende ao requisito nº 6.

As simulações apresentadas a seguir avaliam o atendimento aos requisitos nº 1, 4, 5 e 8 para qualificação da prática como gerenciamento de tráfego razoável. Em especial, os experimentos demonstram que a operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing implica em tratamento igualitário do tráfego, como regra e implica em tratamento diferenciado, de forma excepcional e proporcional.

## 5.2. Simulações

As simulações foram realizadas em dois cenários distintos: o primeiro cenário utiliza geração aleatória de tráfego. O segundo cenário utiliza um perfil de geração de tráfego pré-estabelecido (não aleatório). É utilizado o simulador especializado BAMSIm - *Bandwidth Allocation Model SIMulator* [NETO e MARTINS 2008] com o modelo G-BAM configurado de forma a reproduzir o comportamento dos modelos MAM, RDM e AllocTC-Sharing e da configuração FRFS (descrita mais à frente). Cada cenário foi simulado com 5 sementes aleatórias, sem reutilização, e os resultados<sup>1</sup> apresentados representam a média dos valores obtidos nas cinco simulações. É utilizada a topologia de rede NSF (*National Science Foundation*), que contém 14 nós e 42 enlaces bidirecionais (Figura 1).

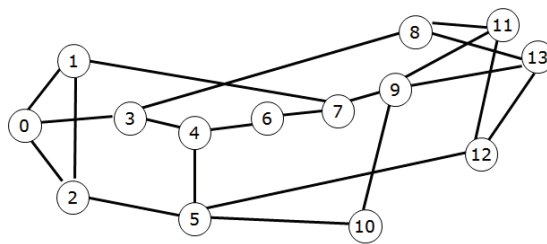


Figura 1 – Rede NSF

Os parâmetros de configuração comuns aos dois cenários são os seguintes:

- Capacidade dos enlaces: 1Gbps
- Classes de tráfego – CTs existentes: CT0, CT1 e CT2 (Tabela 1)
- Limites de empréstimo HTL e LTH: 100%
- Restrições de banda (*Bandwidth Constraints* - BCs): BC0, BC1 e BC2, de acordo com a Tabela 2.

<sup>1</sup> Para validação geramos os intervalos de confiança (95%) e desvios padrões. Resultados completos: <http://www.rafaelreale.net/artigos/NeutralidadeSBRC/NeutralidadeSBRC.xlsx>

**Tabela 2 – Restrições de banda por Classe de Tráfego (CT)**

BCs	TCs	BC (%)	MAX BC – MAM (Mbps)	MAX BC – RDM (Mbps)	MAX BC – Alloc (Mbps)
BC0	CT0	25	250	1000	1000
BC1	CT1	35	350	750	1000
BC2	CT2	40	400	400	1000

### 5.2.1. Primeiro Cenário de Simulação – Configuração e resultados

Nesta subseção são apresentados os resultados que comprovam que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing contribui para a funcionalidade das diversas aplicações por duas razões: leva em conta seus requisitos de QoS e otimiza o desempenho da rede. Adicionalmente, os resultados indicam que a diferenciação de serviço aplicada pelo AllocTC-Sharing é a opção menos interferente capaz de alcançar estes dois resultados, sendo, portanto, uma solução proporcional.

A avaliação dos níveis de otimização do desempenho da rede é realizada por intermédio de comparação entre os comportamentos MAM, RDM e AllocTC-Sharing. São utilizadas as mesmas métricas de desempenho empregadas em [REALE, NETO e MARTINS 2011]: (1) largura de banda atendida, (2) quantidade de LSPs bloqueadas, (3) quantidade de LSPs preemptadas, e (4) quantidade de LSPs atendidas. Por outro lado, a avaliação do comportamento AllocTC-Sharing quanto a ser uma solução proporcional é realizada por intermédio de comparação com uma configuração sem Classes de Tráfego, conforme sugerido em [BEREC 2016].

Nesta simulação de 24 horas de duração, todos os nós da topologia utilizada são possíveis fontes de tráfego e possíveis destinos. Desta forma, qualquer um dos 42 enlaces pode experimentar momentos de subutilização do enlace, alta ocupação e/ou congestionamento prolongado, com variações aleatórias de tráfego entre as CTs. Os parâmetros configurados para cada LSP são os seguintes:

- Tempo de vida das LSPs – modelagem exponencial – média de 300 segundos;
- Carga das LSPs – Distribuição aleatória entre 5 Mbps e 35 Mbps;
- Critério de parada – 24 horas (86.400s); e
- Intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média LSPs geradas a cada 2 segundos.

### Resultados - Otimização do desempenho da rede

A Tabela 3 apresenta os resultados da simulação. É possível notar que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing tem números globais melhores se comparados com o MAM e o RDM: volume de tráfego atendido maior; menor número de LSPs bloqueadas; menor número de LSPs preemptadas; e maior número de LSPs atendidas. Este resultado decorre da estratégia oportunista utilizada pelo AllocTC-Sharing, que permite compartilhamento HTL e LTH.

Os resultados das simulações demonstram que o AllocTC-Sharing consegue trabalhar mais próximo da capacidade da rede. Este comportamento levou a disponibilizar largura de banda a um número de 1.589 LSPs a mais que o RDM e 13.716 a mais que o MAM. Como consequência, o percentual médio de largura de

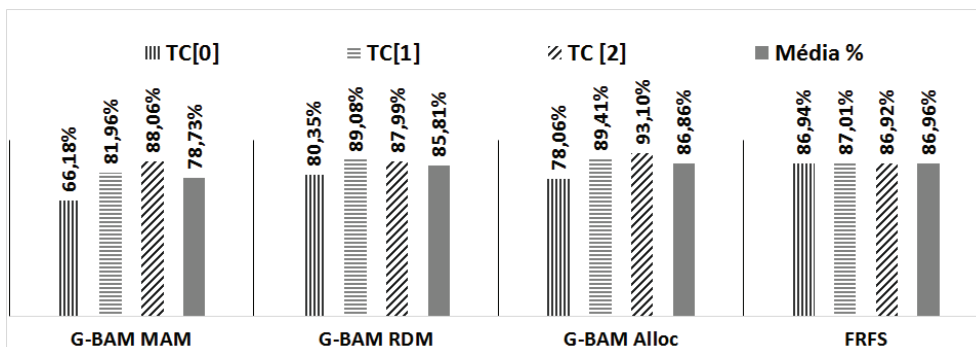


banda atendida, considerando todas as CTs, é cerca de 1% maior em relação ao RDM e cerca de 8% maior em relação ao MAM, conforme ilustrado na Figura 2.

**Tabela 3 - Resultados gerais do primeiro cenário de simulação**

	G-BAM MAM	G-BAM RDM	G-BAM Alloc
Número de LSPs Geradas	215.636		
Número de LSPs Bloqueadas	38.028	15.902	12.066
Número de LSPs Preemptadas	0	10.233	9.768
Número de LSPs Atendidas	176.984	189.111	190.700
Total de Banda Gerada	4.310.324		
Total de Banda Atendida	3.393.779	3.704.532	3.743.722

Os resultados indicam que o isolamento inflexível característico do MAM implica em redução da eficiência no uso da largura de banda. Este modelo é adequado para ambientes DS-TE em que se quer garantir apenas proteção contra degradação de QoS para algumas CTs. Conforme esperado, os resultados do RDM mostram uma flexibilidade maior no compartilhamento da banda, permitindo uma melhor eficiência no uso da capacidade do enlace, em razão da estratégia de compartilhamento HTL. Contudo, o uso exclusivo da HTL implicou num melhor atendimento ao tráfego de tempo real e/ou de uso intensivo de largura de banda (CT1) do que ao tráfego crítico e/ou de emergência (CT2). Este resultado é incompatível com a hierarquia entre CTs definida no esquema de classificação de tráfego proposto, visto que a CT2 foi projetada para abarcar as aplicações mais prioritárias do ponto de vista de requisitos de QoS.



**Figura 2 - Percentual de banda atendida por CT**

Finalmente, os resultados do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing indicam um percentual maior de utilização da capacidade da rede associada a uma alocação de recursos compatível com a hierarquia definida entre as CTs, contribuindo para a funcionalidade das diversas aplicações que utilizam a rede. Estas características são implicações diretas da utilização concomitante das estratégias de compartilhamento HTL e LTH entre CTs. É um modelo mais flexível e que responde melhor à dinâmica de variações de perfis do tráfego ao longo do tempo, sendo, portanto, apropriado ao propósito de gerenciamento definido.

### Resultados - Proporcionalidade

Para [BEREC 2011], uma prática é proporcional quando os meios utilizados para atingir seus objetivos não são maiores do que é apropriado e necessário para atingir esses

objetivos. Assim, busca-se demonstrar que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing não interfere no tráfego mais do que o necessário para atingir seu propósito. Para este tipo de avaliação, BEREC sugere utilizar como referencial de comparação uma configuração sem o uso de Classes de Tráfego.

A configuração sem o uso de Classes de Tráfego irá colocar qualquer tráfego no mesmo nível. Assim, esta configuração, que será chamada de *First-Request-First-Served* – FRFS, “primeiro a ser requisitado, primeiro a ser servido”, disponibilizará a largura de banda dos enlaces para todos os tipos de tráfego, sem prioridades, mesmo durante congestionamento. A única restrição é a disponibilidade de largura de banda no enlace no momento da requisição. A marcação do tráfego por CT continuará necessária com o objetivo estrito de comparar os resultados desta simulação com os gerados pelo AllocTC-Sharing.

Para ilustração da diferença de comportamento do Alloc e do FRFS, foi escolhido o enlace 27 (origem nó 9 e destino nó 7). Este enlace apresentou um perfil de utilização muito alto – congestionamento. Assim, é possível evidenciar as diferenças de operação entre a configuração FRFS e o comportamento AllocTC-Sharing. Conforme ilustrado na Figura 3, para o AllocTC-Sharing é possível perceber a predominância de CT2 sobre CT1 e sobre CT0. Já a configuração FRFS não impõe qualquer diferenciação no atendimento ao tráfego marcado por CT.

Os resultados estatísticos de desempenho global (Figura 2), considerando inclusive enlaces não congestionados, indicam que o AllocTC-Sharing e o FRFS alcançam praticamente o mesmo nível de utilização da capacidade da rede (diferença média de 0,1%). Contudo, o FRFS, diferentemente do AllocTC-Sharing, não contribui para o adequado atendimento do tráfego de aplicações que tem uma maior sensibilidade a requisitos de qualidade (CT2 e CT1), e, conseqüentemente, não contribui para a funcionalidade destas aplicações, especialmente nas situações em que os enlaces passam por momentos de congestionamento. O FRFS trataria uma chamada VoIP ou uma comunicação de emergência da mesma forma que uma mensagem de e-mail (por exemplo, fornecendo o mesmo atraso e a mesma probabilidade de atendimento na entrega de pacotes).

O FRFS seria mais adequado a redes de melhor esforço, onde nenhuma garantia de QoS é requerida. Em outras palavras, uma configuração sem classes de tráfego, apesar de ser menos interferente, não é a forma mais efetiva de se tratar um conjunto de tráfego com uma variedade tão grande de requisitos de QoS. Por outro lado, o AllocTC-Sharing, ao permitir isolamento entre as CTs durante períodos de congestionamento, promove certa proteção contra degradação de QoS para todas as CTs, além de trabalhar bem próximo da eficiência máxima dos enlaces em razão de suas estratégias de compartilhamento de largura de banda. Desta forma, como a opção menos interferente não se mostrou igualmente efetiva, o mecanismo avaliado pode ser considerado uma solução proporcional.

As características de operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing demonstradas nesta subseção comprovam que a solução alcança o propósito de gerenciamento definido, na medida em que contribui para a funcionalidade das diversas aplicações; segue estritamente o esquema de classificação de tráfego não discriminatório proposto; e é um mecanismo proporcional; atendendo

concomitantemente aos requisitos nº 1, 4 e 5 para qualificação da prática como gerenciamento de tráfego razoável.

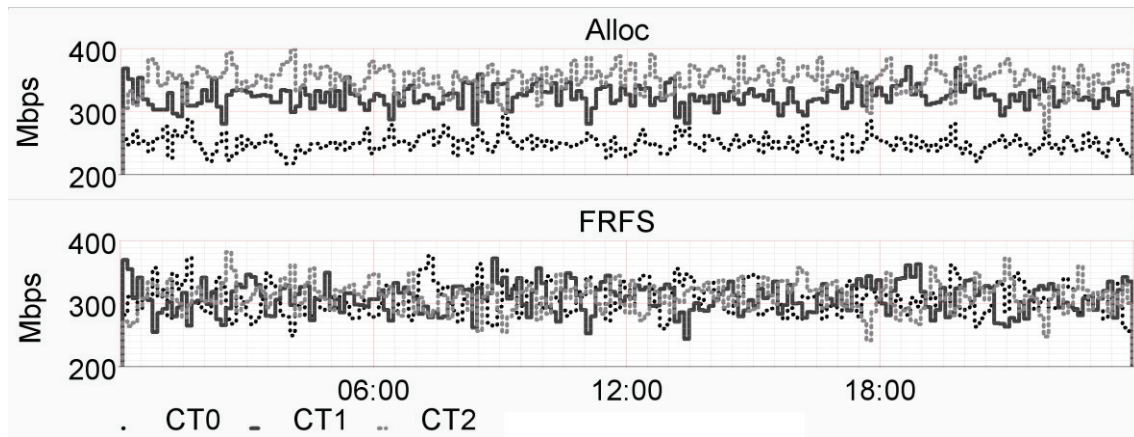


Figura 3 - Utilização do enlace 27 – G-BAM com AllocTC-Sharing vs FRFS

### 5.2.2. Segundo Cenário de Simulação – Configuração e resultados

Nesta subseção são apresentados os resultados que comprovam que a intervenção no tráfego que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing executa, como bloqueios, devoluções e preempções de LSPs, ocorrem de forma excepcional apenas durante períodos de escassez de largura de banda, i. e., de congestionamento. Para tal, utiliza-se três diferentes perfis de ocupação da rede: subutilização, alta utilização com momentos de congestionamento e congestionamento prolongado.

Nesta simulação de 5 horas de duração, foi definido como única fonte de tráfego o nó 0 e como único destino o nó 1 (correspondentes ao enlace 0) da topologia utilizada. Desta forma, o enlace 0 experimenta os três diferentes perfis de utilização da largura de banda necessários para esta prova de conceito: (1) uma fase de subutilização do enlace, (2) uma fase de alta ocupação, com variações de tráfego entre as CTs e (3) uma fase de congestionamento prolongado. Os parâmetros configurados para cada LSP são os seguintes:

- Tempo de vida das LSPs – modelagem exponencial – média de 300 segundos;
- Carga das LSPs – Distribuição aleatória entre 5 Mbps e 15 Mbps;
- Critério de parada – 5 horas (18.000s); e
- Intervalo médio entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média LSPs geradas conforme indicado na Tabela 4.

A fase 1 da demonstração representa a primeira hora da simulação e é caracterizada por baixa taxa de geração de LSPs para todas as CTs, i. e., uma baixa ocupação do enlace. As fases 2, 3 e 4 são caracterizadas por alta ocupação dos enlaces, com alguns momentos de congestionamento, levando ao bloqueio de LSPs. Na fase 2 ocorre chegada de LSPs associadas à CT0 numa taxa maior. Na fase 3 a taxa de chegada de novas LSPs associadas a CT0 permanece alta enquanto também é alta a taxa de chegada de novas LSPs associadas a CT1. Na fase 4, o fluxo de chegada de novas LSPs de CT1 é reduzido enquanto as LSPs de CT2 tem sua taxa de chegada aumentada e as de CT0 tem a taxa mantida. Durante a fase 5 tem-se alta taxa de geração de LSPs

associadas a todas as CTs. Nesta última fase, caracterizada como de congestionamento prolongado, a quantidade de bloqueios de LSPs tende a ser maior do que nas outras.

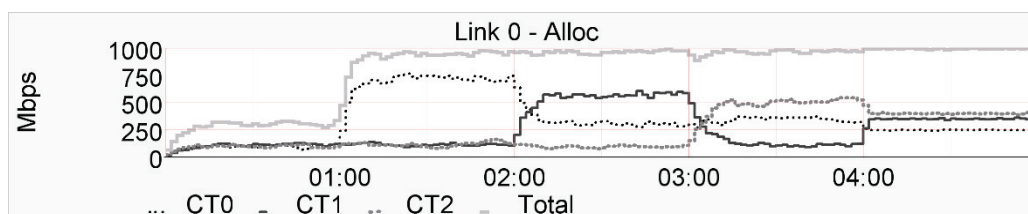
**Tabela 4 – Intervalo médio (em segundos) entre chegadas de solicitações de LSPs por CT**

Fase	1	2	3	4	5
Intervalo	0:00 - 1:00	1:00 - 2:00	2:00 - 3:00	3:00 - 4:00	4:00 - 5:00
CT0	50	4	8	8	4
CT1	50	50	8	50	4
CT2	50	50	50	8	4

### Resultados - Excepcionalidade

Com o AllocTC-Sharing, a aplicação de prioridades (diferenciação de serviço) no estabelecimento ou manutenção de LSPs só ocorre quando o enlace está congestionado. Esta aplicação de prioridades vai resultar em preempção ou devolução de LSP estabelecida, quando não houver largura de banda suficiente no enlace para atender a nova requisição de LSP e houver saldos positivos de banda emprestada (HTL e LTH, respectivamente); e bloqueio de LSP, quando não houver largura de banda suficiente no enlace para atender a nova requisição e não houver saldos positivos de banda emprestada.

A Figura 4 ilustra a utilização do enlace 0 durante a operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing. Na fase 1, de subutilização do enlace, o índice de bloqueios é nulo, visto que existe sobra de largura de banda para todas as CTs. Isso significa que nenhum tráfego é descartado e não é aplicada prioridade no estabelecimento ou manutenção de LSPs. Nas fases de 2 a 4, o índice de bloqueios é médio, em razão da alta ocupação dos enlaces e de alguns momentos de congestionamento.



**Figura 4 - Utilização do enlace 0**

Na fase 5, o índice de bloqueios é alto, em decorrência da demanda por largura de banda ser maior que a disponibilidade durante todo o período, conforme ilustrado na Figura 5. De forma similar, os episódios de preempções de LSPs, característica de operação do compartilhamento HTL e os episódios de devoluções de LSPs, característica de operação do compartilhamento LTH, ambos utilizados pelo AllocTC-Sharing, vão ocorrer somente nos momentos de disputa por recursos, nunca em momentos de subutilização do enlace.

Estes resultados comprovam que a intervenção no tráfego executada pelo G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing, na forma de aplicação de prioridades, ocorrem de forma excepcional (atendendo ao requisito nº 8), ou seja, ocorrem apenas

durante períodos de congestionamento. Consequentemente, os resultados comprovam o atendimento igualitário do tráfego, como regra.

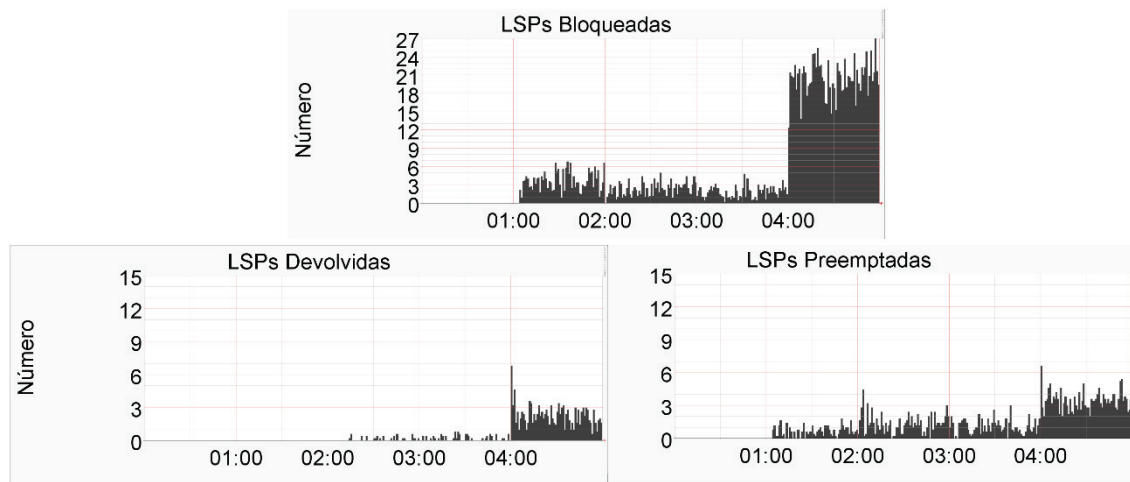


Figura 5 – Número de bloqueios, preempções e devoluções no enlace 0 – Alloc

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

O uso do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing foi apresentado como um mecanismo de gerenciamento de tráfego aplicável a ISPs com o propósito de contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, de forma compatível com as regras de neutralidade de rede. Sua operação foi implementada e simulada com o objetivo de verificar sua conformidade com a neutralidade de rede, isto é, o atendimento tanto à regra de não discriminação quanto aos requisitos para qualificação como gerenciamento de tráfego razoável.

Em resumo, o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing respeita a regra de não discriminação e aplica diferenciação de serviço com o uso de Classes de Tráfego de forma razoável, maximizando a utilização da capacidade da rede e contribuindo para o atendimento dos variados requisitos de qualidade das aplicações atendidas pela rede. Desta forma, sua operação se mostra, ao mesmo tempo, compatível com as regras de neutralidade de rede impostas por diversas ARNs e eficiente do ponto de vista de utilização da largura de banda, implicando potencialmente na diminuição do impacto regulatório de tais regras.

Trabalhos futuros incluem pelo menos duas interessantes possibilidades: (1) avaliação da relação entre os índices de atendimento a requisição de LSPs (concessão de largura de banda) com índices de referência para a QoE de algumas aplicações; e (2) estudo e proposta de diretrizes para fiscalização de mecanismos de gerenciamento de tráfego em redes IP, dentro e fora do ambiente MPLS.

## Referências

- BEREC. A framework for Quality of Service in the scope of Net Neutrality, 2011.
- BEREC. BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules, 2016.
- Decreto nº 8.771. 11 de maio de 2016. Regulamenta a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014, para tratar das hipóteses admitidas de discriminação de pacotes de dados na

- internet e de degradação de tráfego. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 2016. Brasília, DF, 11 mai. 2016, Edição Extra, Seção 1, p. 7.
- Lei nº 12.965. de 23 de abril de 2014. Estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da Internet no Brasil. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 2014. Brasília, DF, Seção 1 - 24 abr. 2014, Pág. 1.
- FCC. FCC Releases Open Internet Order, 12 de março 2015. Disponível em: <[https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-15-24A1\\_Rcd.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-24A1_Rcd.pdf)>. Acesso: outubro 2016.
- ITU-T. Y.1221 - Traffic control and congestion control in IP-based networks, 2010.
- ITU-T. Y.1541 - Network performance objectives for IP-based services, 2011.
- Jordan, S. A Layered Network Approach to Net Neutrality. *International Journal of Communication*, 2007. 427-460.
- Le Faucheur, F.; Lai, W. Requirements for Support of Differentiated Services-Aware MPLS Traffic Engineering. IETF. RFC 3564. 2003.
- Neto, W. D. C. P.; Martins, J. S. B. A RDM-like Bandwidth Management Algorithm for Traffic Engineering with DiffServ and MPLS Support. *International Conference on Telecommunications - ICT*. São Petersburgo, Rússia: IEEE. 2008. p. 1 - 6.
- Ramos, P. H. S. Arquitetura da Rede e Regulação: A Neutralidade da Rede no Brasil. 2015. Fundação Getúlio Vargas. Dissertação (Mestrado).
- Reale, R. F. et al. Uma Visão Tutorial dos Modelos de Alocação de Banda (BAM - Bandwidth Allocation Models) como Mecanismo de Provisionamento de Recursos em Redes IP/MPLS/DS-TE. *Revista de Sistemas e Computação*, Salvador, v. 5, n. 2, p. 144-155, dez 2015.
- Reale, R. F.; Bezerra, R.; Martins, J. S. B. G-BAM: A Generalized Bandwidth Allocation Model for IP/MPLS/DS-TE Networks. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications - IJCNC*, v. 6, p. 635-643, 2014.
- Reale, R. F.; Neto, W. D. C. P.; Martins, J. S. B. Modelo de Alocação de Banda com Compartilhamento Oportunista entre Classes de Tráfego e Aplicações em Redes Multiserviço. *XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*. Campo Grande, MS: 2011. p. 163 - 176.
- Schewick, B. V. Network Neutrality and Quality of Service: What a nondiscrimination rule should look like. Forthcoming, *Stanford Law Review*, 67, n. 1, 2015.
- Webb, M.; Henderson, W. Net neutrality: A regulatory perspective. *ITU Global Symposium for Regulators*, 2012.
- Wójcik, R. Net Neutral Quality of Service Differentiation in Flow-Aware Networks. *Poznan University of Technology*. Kraków, Poland. 2011. Tese (Doutorado).
- Wu, T. Network Neutrality, Broadband Discrimination. *Journal of Telecommunications and High Technology Law*, 2, 2003.