



**UNIFACS**

UNIVERSIDADE SALVADOR

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES\*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO  
MESTRADO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO**

**DAVID SANTANA E SILVA BARRETO**

**USO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE BANDA GENERALIZADO (G-BAM) EM  
CONFORMIDADE COM A NEUTRALIDADE DE REDE - PROPOSTA E  
AVALIAÇÃO**

Salvador  
2017

**DAVID SANTANA E SILVA BARRETO**

**USO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE BANDA GENERALIZADO (G-BAM) EM  
CONFORMIDADE COM A NEUTRALIDADE DE REDE - PROPOSTA E  
AVALIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Joberto S. B. Martins.

Salvador  
2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities)

Barreto, David Santana e Silva

Uso do modelo de alocação de banda generalizado (G-BAM) em conformidade com a neutralidade de rede - proposta e avaliação./ David Santana e Silva Barreto. - 2017.

94 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities. Mestrado em Sistemas e Computação, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Joberto S. B. Martins.

1. Rede de computadores. 2. Gerenciamento de Tráfego da Internet 3. Modelos de Alocação de Banda (BAMs). I. Martins, Joberto B., orient. II. Título.

CDD: 005.8

## TERMO DE APROVAÇÃO

DAVID SANTANA E SILVA BARRETO

USO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE BANDA GENERALIZADO (G-BAM) EM CONFORMIDADE COM A NEUTRALIDADE DE REDE - PROPOSTA E AVALIAÇÃO.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sistemas e Computação, UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities, pela seguinte banca examinadora:

Joberto S. B. Martins - Orientador \_\_\_\_\_  
Doutor em Ciência da Computação, Université Pierre et Marie Curie, Paris - França  
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Jorge Alberto Prado de Campos \_\_\_\_\_  
Doutor em Spatial Information Science and Engineering, University of Maine at Orono  
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Anilton Salles Garcia \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas  
Universidade Federal do Espírito Santo

Salvador de abril de 2017.

dedicatória(s): À minha família, pelo orgulho que sentem por mim. Especialmente à minha esposa Natalie e meu filho Arthur, pela paciência e compreensão pelo tempo que precisei dedicar a este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores do Mestrado em Sistemas e Computação da Unifacs pelos ensinamentos e contribuições ainda no período de aulas. Agradeço aos colegas mais próximos, Maxli, Cleber e Antônio Bráulio, pelo apoio e torcida mútua desde o início das aulas até o estágio final do curso. Ao Prof. Joberto Martins, pela atenção, entusiasmo e orientação firme e também pela inclusão no grupo de pesquisa sobre Modelos de Alocação de Banda. Agradeço ao Prof. Rafael Reale, pela orientação no uso do simulador BAMSIm e pelo compartilhamento de conhecimentos, além da disponibilidade, paciência e ajuda nas fases de desenvolvimento e produção da dissertação e artigo. Agradeço também aos colegas da Anatel, pela torcida e discussões sobre tema, especialmente a Jorgean Leal, pelos comentários e sugestões de grande valor.

"Estamos todos agora conectados pela Internet, como neurônios em um cérebro gigante."

(STEPHEN HAWKING)

## RESUMO

O fluxo de dados da Internet tem crescido consideravelmente nos últimos anos e mantém essa tendência em volume, complexidade e variedade e, por isso, precisa ser atendido e gerenciado de forma adequada pelos ISPs (*Internet Service Providers*). A neutralidade de rede representa o conceito de que o tráfego da Internet em geral não deve ser discriminado pelos ISPs com base em sua origem, destino e conteúdo. Para atingir este objetivo, vários países adotaram uma postura mais rigorosa e proibiram certas condutas reconhecidas como abusivas. Uma questão aberta e desafiadora é propor um modelo operacional e eficaz de gerenciamento de tráfego que possa implementar e seguir o conceito de neutralidade de rede nas redes de ISPs. Esta dissertação apresenta evidências sobre o uso de Modelos de Alocação de Largura de Banda (*Bandwidth Allocation Models* - BAMs) como um mecanismo capaz de implementar a neutralidade em redes IP/MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*). Os BAMs, em resumo, podem alocar recursos em função da demanda e têm "comportamentos" distintos que podem ser explorados para atingir a neutralidade de rede. Este trabalho apresenta o comportamento AllocTC-Sharing reproduzido pelo Modelo de Alocação de Largura de Banda Generalizada (G-BAM), e discute como esse comportamento pode alcançar uma operação de acordo com a neutralidade de rede, mesmo utilizando diferenciação de serviço. Finalmente, simula e avalia o atendimento às regras estabelecidas, considerando um mapeamento não discriminatório de aplicações em diferentes Classes de Tráfego (CTs). Os resultados indicam que o comportamento AllocTC-Sharing é apropriado e compatível com as regras de neutralidade de rede impostas.

**Palavras-chave:** Neutralidade de Rede, Gerenciamento de Tráfego da Internet razoável, Modelos de Alocação de Banda (BAMs), Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM), AllocTC-Sharing.

## ABSTRACT

The flow of data across the Internet has grown considerably in the last years and maintains this trend in volume, complexity and variety, and therefore needs to be adequately managed by ISPs. Network neutrality represents the concept that Internet traffic in general should not be discriminated by ISPs based on its source, destination and content. To achieve this goal, a number of countries adopt a hard stance and prohibit certain abusive conducts. An open issue and challenging task is to propose an operational and effective traffic management model that can implement and comply with the concept of network neutrality on ISPs networks. This dissertation presents evidence on the use of Bandwidth Allocation Models (BAMs) as a mechanism to implement neutrality in IP/MPLS networks. BAMs, in brief, can allocate resources on demand and have distinct “behaviors” that can be exploited to achieve network neutrality. This work introduces the AllocTC-Sharing behavior reproduced by the Generalized Bandwidth Allocation Model (G-BAM), discusses how this behavior can achieve a network operation in accordance with network neutrality even using service differentiation and, finally, simulates and evaluates the compliance with the established rules, considering a non-discriminatory mapping of applications in different Traffic Classes. The results indicate that the AllocTC-Sharing behavior is appropriate and compatible with the imposed net neutrality rules.

**Keywords:** Network Neutrality, Reasonable Internet Traffic Management – ITM, Bandwidth Allocation Models – BAMs, Generalized Bandwidth Allocation Model – G-BAM, AllocTC-Sharing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os principais atores do ecossistema da Internet.....	21
Figura 2 – Arquitetura simplificada da Internet .....	23
Figura 3 – Desempenho do tráfego da Netflix na rede da Comcast (Jul/2013 a Mai/2014) ....	25
Figura 4 – Modelos de camadas OSI e Internet.....	31
Figura 5 – Estrutura de rede MPLS típica .....	37
Figura 6 – Arquitetura de transporte típica. Backbone e backhaul .....	42
Figura 7 – Modelo de Alocação de Banda MAM .....	44
Figura 8 – Modelo de Alocação de Banda RDM .....	45
Figura 9 – Modelo de Alocação de Banda AllocTC-Sharing (Alloc) .....	46
Figura 10 – Modelo de operação do AllocTC-Sharing .....	48
Figura 11 – Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM) .....	49
Figura 12 – Sensibilidade à qualidade e taxa de dados de algumas aplicações e serviços.....	56
Figura 13 – Topologia da rede NSF .....	61
Figura 14 – Topologia da rede NSF. Enlace 0 .....	63
Figura 15 – Geração de LSPs ao longo do tempo .....	65
Figura 16 – Percentual de banda atendida por CT - primeiro cenário de simulação.....	67
Figura 17 – Percentual de bloqueios de LSPs por CT - primeiro cenário de simulação .....	68
Figura 18 – Percentual de preempções de LSPs por CT - primeiro cenário de simulação .....	69
Figura 19 – Percentual LSPs atendidos por CT - primeiro cenário de simulação.....	69
Figura 20 – Topologia da rede NSF – Enlaces 01 e 27 .....	70
Figura 21 – Utilização do enlace 01. G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing .....	71
Figura 22 – Utilização do enlace 01. G-BAM com configuração FRFS.....	71
Figura 23 – Utilização do enlace 27. G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing.....	72
Figura 24 – Utilização do enlace 27. G-BAM com configuração FRFS.....	72
Figura 25 – Utilização do enlace 01. Comparação entre AllocTC-Sharing e FRFS .....	72
Figura 26 – Utilização do enlace 27. Comparação entre AllocTC-Sharing e FRFS .....	73
Figura 27 – Percentual de banda atendida por CT. AllocTC-Sharing vs FRFS .....	73
Figura 28 – Número de LSPs gerados ao longo do tempo de simulação .....	75
Figura 29 – Utilização do enlace 0 – G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing.....	76
Figura 30 – Número de LSPs bloqueados por CT no enlace 0 - AllocTC-Sharing .....	77
Figura 31 – Número de LSPs preemptados por CT no enlace 0 - AllocTC-Sharing .....	77
Figura 32 – Número de LSPs devolvidos por CT no enlace 0 - AllocTC-Sharing .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos de regulação da neutralidade de rede.....	29
Tabela 2 – Proposta de mapeamento de aplicações em Classes de Tráfego .....	58
Tabela 3 – Restrições de banda por Classe de Tráfego .....	62
Tabela 4 – Intervalo médio (em segundos) entre chegadas de solicitações de LSPs por CT...	64
Tabela 5 – Percentuais de LSPs gerados para cada CT - primeiro cenário de simulação .....	65
Tabela 6 – Resultados gerais do primeiro cenário de simulação.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Alloc	<i>AllocTC-Sharing</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BAM	<i>Bandwidth Allocation Model</i>
BAMSim	<i>Bandwidth Allocation Model SIMulator</i>
BC	<i>Bandwidth Constraint</i>
BEREC	<i>Body of European Regulators for Electronic Communications</i>
CBWFQ	<i>Class-Based Weighted Fair Queueing</i>
CoS	<i>Class of Service</i>
CR-LDP	<i>Constraint based Routing Label Distribution Protocol</i>
CSPF	<i>Constrained Shortest Path First</i>
CT	<i>Classe de Tráfego</i>
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>
DPI	<i>Deep Packet Inspection</i>
DS-TE	<i>DiffServ Aware MPLS Traffic Engineering</i>
FAN	<i>Flow-Aware Networking</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FEC	<i>Forward Equivalence Class</i>
FRFS	<i>First-Request First-Served</i>
G-BAM	<i>Generalized Bandwidth Allocation Model</i>
HTL	<i>High-to-Low</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ITM	<i>Internet Traffic Management</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector</i>
LDP	<i>Label Distribution Protocol</i>
LER	<i>Label Edge Router</i>
LIB	<i>Label Information Base</i>
LSP	<i>Label Switched Path</i>
LSR	<i>Label Switch Router</i>
LTH	<i>Low-to-High</i>
MAM	<i>Maximum Allocation Model</i>
MPLS	<i>Multi-Protocol Label Switching</i>
MPLS-TE	<i>MPLS Traffic Engineering</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
PE	<i>Provider Edge</i>

PQ	<i>Priority Queuing</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDM	<i>Russian Dolls Model</i>
RED	<i>Random Early Detection</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RSVP-TE	<i>Resource Reservation Protocol Traffic Engineering</i>
SCM	<i>Serviço de Comunicação Multimídia</i>
STFC	<i>Serviço telefônico Fixo Comutado</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TED	<i>Traffic Engineering Database</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UIT	<i>União Internacional de Telecomunicações</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
WFQ	<i>Weighted Fair Queueing</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	15
1.2 ESCOPO E PROPOSTA .....	17
1.3 CONTRIBUIÇÕES .....	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	19
<b>2 NEUTRALIDADE DE REDE</b> .....	<b>20</b>
2.1 DEFINIÇÃO DO TERMO NEUTRALIDADE DE REDE .....	20
2.2 HISTÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.2.1 A importância da Neutralidade de rede .....	29
2.3.1 Gerenciamento de Tráfego .....	30
2.3.2 Hipóteses de discriminação de tráfego previstas em legislação.....	32
<b>3 MODELO DE ALOCAÇÃO DE BANDA GENERALIZADO (G-BAM) E O COMPORTAMENTO ALLOCTC-SHARING</b> .....	<b>36</b>
3.1 CONTEXTO.....	36
3.1.1 MPLS (Multiprotocol Label Switching).....	36
3.1.2 DS-TE (Diffserv Aware Mpls Traffic Engineering) .....	38
3.1.3 Aplicabilidade das redes IP/MPLS/DS-TE .....	41
3.2 MODELOS DE ALOCAÇÃO DE BANDA.....	42
3.2.1 Maximum Allocation Model (MAM).....	44
3.2.2 Russian Dolls Model (RDM).....	44
3.2.3 AllocTC-Sharing (Alloc) .....	45
3.3 GENERALIZED BANDWIDTH ALLOCATION MODEL (G-BAM).....	48
<b>4 ATENDIMENTO À NEUTRALIDADE DE REDE – PROPOSTA E AVALIAÇÃO</b> .	<b>51</b>
4.1 UTILIZAÇÃO DO G-BAM COM COMPORTAMENTO ALLOCTC-SHARING COM A FINALIDADE DE ALCANÇAR UMA OPERAÇÃO EM CONFORMIDADE COM A NEUTRALIDADE DE REDE .....	52
4.1.1 Considerações sobre a transparência requisitada .....	54
4.1.2 Considerações sobre o propósito legítimo defendido pela neutralidade de rede .....	54
4.2 PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE APLICAÇÕES EM CLASSES DE TRÁFEGO .	55
4.3 SIMULAÇÕES - OBJETIVOS E CONFIGURAÇÕES .....	58
4.3.1 Primeira Simulação - Configuração .....	61
4.3.2 Considerações sobre a configuração FRFS .....	62
4.3.3 Segunda Simulação - Configuração .....	63
4.4 AVALIAÇÃO DE PROPORCIONALIDADE .....	64
4.4.1 Comparação AllocTC-Sharing vs RDM vs MAM – avaliação de desempenho.....	65
4.4.2 Comparação AllocTC-Sharing vs FRFS .....	70
4.4.3 Conclusão .....	75
4.5 AVALIAÇÃO DE EXCEPCIONALIDADE.....	75
4.5.1 Conclusão .....	79
4.6 AVALIAÇÃO GERAL DE CONFORMIDADE DA PRÁTICA PROPOSTA COM A NEUTRALIDADE DE REDE .....	79
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>82</b>
5.1 TRABALHO REALIZADO .....	82
5.2 TRABALHOS FUTUROS .....	83
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>
<b>APÊNDICE A – BAMSIM – INFORMAÇÕES ADICIONAIS</b> .....	<b>88</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS COMPLETOS DAS SIMULAÇÕES</b> .....	<b>89</b>
<b>APÊNDICE C – PUBLICAÇÃO DO AUTOR SOBRE O TEMA</b> .....	<b>94</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Por padrão, a Internet provê o serviço de melhor esforço (*best-effort service*), que atende ao propósito de mover pacotes de uma origem a um destino o mais rápido e ao menor custo possível. Assim, todos os pacotes são tratados igualmente (em classe única), sem o uso de práticas de diferenciação de serviço e sem garantia de nível de serviço. As aplicações<sup>1</sup> da Internet, no entanto, têm uma grande variedade de requisitos de Qualidade de Serviço (*Quality of Service - QoS*). Alcançar os diversos requisitos das aplicações usando um serviço de classe única é uma tarefa no mínimo desafiadora (BEREC, 2011).

Mesmo uma rede bem dimensionada pode sofrer, ocasionalmente, com congestionamento. Essa é uma situação inevitável, especialmente em uma rede *best-effort* (ITU-T, 2010). Uma rede congestionada impõe perda de desempenho a praticamente todas as aplicações. Se o aumento nos níveis de atraso, variação do atraso (*jitter*) ou perda de pacotes exceder o montante que uma aplicação sensível a esses parâmetros possa compensar, o desempenho de aplicações como voz sobre IP (*Voice over IP - VoIP*) e jogos *on-line* pode cair a níveis impraticáveis (SCHEWICK, 2015; JITSUZUMI, 2011).

Uma rede que fornece QoS oferece diferentes níveis de serviço para diferentes pacotes de dados, levando em conta seus requisitos de qualidade de serviço, com a finalidade de dar ao tráfego considerado mais crítico a prioridade no uso dos recursos da rede (largura de banda, *buffer*, processamento, etc.). Dessa forma, a rede pode atender às necessidades de serviço de certas aplicações (FINEBERG, 2003) e contribuir para o fornecimento de níveis de qualidade de experiência (*Quality of Experience - QoE*)<sup>2</sup> apropriados.

Para prover QoS para uma variedade de tráfego (tipos diferentes de aplicações), uma rede deve satisfazer a duas condições necessárias: largura de banda garantida, inclusive sob congestionamento; e tratamento apropriado do tráfego baseado em classes (*class-based*). Não é suficiente ter largura de banda disponível e ter um índice de atrasos inapropriado. Da mesma forma, um fluxo de pacotes pode ser servido apropriadamente por alguns nós da rede, mas ser

---

<sup>1</sup> Neste trabalho, os termos “aplicações” e “aplicação” são utilizados como expressões mais curtas para “aplicações, serviços e conteúdo” e “aplicação, serviço e conteúdo”, respectivamente.

<sup>2</sup> A QoE leva em conta as expectativas e contextos dos usuários, por intermédio de sua percepção subjetiva e inclui muitos parâmetros que estão além do controle dos ISPs, como o equipamento terminal do usuário e a rede local (BEREC, 2012). No entanto, é possível supor que uma melhor performance da rede contribuirá para o alcance de níveis melhores de QoE.

descartado ou severamente atrasado por insuficiência de largura de banda, mesmo que ocasional (FINEBERG, 2003).

Por sua vez, casos de uso de mecanismos de diferenciação de serviço por provedores do serviço de Internet (*Internet Service Providers* - ISPs) com propósitos majoritariamente comerciais geraram efeitos indesejados na competição (como os exemplos elencados na subseção 2.2) e culminaram com a imposição de limites legais<sup>3</sup> para essas práticas. Esses limites são conhecidos como regras ou princípios de neutralidade de rede.

A neutralidade de rede tem a finalidade de proteger o valor da Internet para seus usuários finais, para a indústria e para toda a sociedade (BELLI, 2016). De forma resumida, a neutralidade de rede defende o tratamento isonômico de todo o tráfego na Internet. A partir desse tratamento não discriminatório e desassociado de considerações comerciais, acredita-se estar permitindo que a Internet continue sendo uma plataforma aberta e democrática de inovação, potencializando o desenvolvimento econômico, cultural e social da humanidade.

No entanto, os limites estabelecidos não impedem que os ISPs lancem mão de práticas que visem preservar a estabilidade, segurança e funcionalidade da Internet. O gerenciamento do tráfego da Internet baseado em razões técnicas, como o atendimento aos diferentes requisitos de QoS das aplicações, é considerado apropriado ao escopo da neutralidade de rede. Essa abordagem reconhece a necessidade de gerenciamento do tráfego e de diferenciação de serviço, desde que aplicado de forma razoável e não discriminatória.

A transparência neste caso é imprescindível. Se um ISP bloquear ou diferenciar o tráfego de aplicações em suas redes, por exemplo, tanto os usuários finais quanto os provedores de aplicações devem ter à sua disposição informação suficiente sobre a prática de gerenciamento. Assim, podem ser minimizadas possíveis distorções na competição, evitando que se crie desvantagem injustificada a determinados provedores de aplicações ou que se diminua a liberdade de escolha dos usuários finais.

Dentre as questões tratadas nas discussões sobre o tema, estão tópicos como cobranças de taxas de terminação, cobranças diferenciadas (*zero-rating*) e o gerenciamento do tráfego da Internet. Este trabalho se fixa sobre o último tópico e, neste contexto, é relevante discutir e propor o uso de práticas de gerenciamento de redes e de tráfego que possam tanto promover e

---

<sup>3</sup> Por exemplo, no Brasil, o Marco Civil da Internet (Lei nº 12.965/2014) instituiu regras sobre a Neutralidade de Rede e o Decreto 8.771/2016 tratou das hipóteses admitidas de discriminação de pacotes de dados na Internet e de degradação de tráfego. Em 2015, nos Estados Unidos da América, a *Federal Communications Commission* (FCC) lançou as regras de Neutralidade de Rede (*U.S. FCC Report and Order on Protecting and Promoting the Open Internet*). Na Europa, o *Body of European Regulators for Electronic Communications* (BEREC) lançou em 2016 as diretrizes para implementação da Neutralidade de Rede - BoR (16) 127, especificando o normativo *EU Regulation 2015/2120*.

contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet como implicar em ganhos de eficiência no uso dos recursos de rede, atendendo às regras estabelecidas. Tais práticas, não discriminatórias e eficientes, podem minimizar o impacto regulatório das regras de neutralidade de rede e contribuir para a continuidade de investimentos nas estruturas de redes da Internet.

## 1.2 ESCOPO E PROPOSTA

Conforme delineado na subseção anterior, a possibilidade de adoção de práticas de Gerenciamento de Tráfego da Internet, inclusive com aplicação de diferenciação de serviço, está prevista nas regras de neutralidade de rede estabelecidas. Consideradas como exceções à regra de não discriminação, tais práticas devem seguir certos princípios, como, por exemplo, transparência, ter um propósito legítimo, isonomia, proporcionalidade e excepcionalidade.

Em uma rede IP com diferenciação de serviço e engenharia de tráfego funcionando sobre circuitos virtuais (IP/MPLS/DS-TE), é possível mapear o tráfego em Classes de Tráfego (CTs), com base em seus requisitos de QoS e utilizar um Modelo de Alocação de Banda (*Bandwidth Allocation Model* – BAM) para efetivar as regras e limites de utilização dos enlaces pelas CTs.

O Modelo de Alocação de Banda Generalizado (*Generalized Bandwidth Allocation Model* – G-BAM) potencialmente se encaixa nos limites definidos pelas regras de neutralidade de rede. O G-BAM é capaz de reproduzir o “comportamento”<sup>4</sup> (“*behavior*”) de outros BAMs, como o AllocTC-Sharing, proposto em (REALE; NETO; MARTINS, 2011). O AllocTC-Sharing permite empréstimos mútuos de largura de banda entre CTs de baixa e alta prioridade e só aplica priorização de alocação de banda a determinado subconjunto de tráfego (diferenciação de serviço) em situações de conflitos resultantes da escassez de largura de banda no enlace.

Assim, este trabalho se propõe a apresentar o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing como um mecanismo aplicável às redes dos ISPs e avaliar a conformidade de sua operação com a neutralidade de rede. A seguinte tese é proposta e avaliada nesta dissertação:

**É possível gerenciar o tráfego da Internet em redes IP/MPLS/DS-TE, utilizando o Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM) com o**

---

<sup>4</sup> Cada BAM implementa efetivamente um “comportamento” na forma como a largura de banda é alocada/compartilhada e o G-BAM generaliza todos os possíveis comportamentos existentes. A subseção 3.2 explica de forma mais detalhada como o G-BAM reproduz o comportamento dos BAMs.

**comportamento AllocTC-Sharing, em conformidade com as regras de neutralidade de rede estabelecidas.**

Por sua vez, 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 da Internet (*Internet Traffic Management* - ITM) razoável, de acordo com os seguintes perfis de operação:

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

### 1.3 CONTRIBUIÇÕES

1. Este trabalho propõe e avalia, no contexto de uma rede IP com MPLS e suporte à engenharia de tráfego (*DiffServ Aware MPLS Traffic Engineering* - DS-TE), a utilização do G-BAM reproduzindo o comportamento AllocTC-Sharing para alocação de tráfego conforme as regras de neutralidade de rede, podendo ser uma alternativa viável para o Gerenciamento de Tráfego da Internet nas estruturas de rede dos ISPs.
2. A avaliação ora apresentada, incluindo os métodos utilizados, pode servir de guia para avaliações de outros mecanismos de ITM, na medida em que oferece os principais requisitos que podem ser utilizados para qualificá-los como razoáveis ou justificáveis.
3. Considerando a falta de consenso e conformidade para a definição do termo “neutralidade de rede”, este trabalho oferece uma definição particular para o mesmo, conforme detalhado no Capítulo 2.
4. Adicionalmente, considerando que não foi encontrado na literatura consultada um mapeamento de aplicações e serviços sugerido ou imposto especificamente para o contexto da neutralidade de rede, este trabalho propõe e utiliza, suportado por cenários de simulação, uma estratégia de organização e mapeamento de aplicações em Classes de Tráfego de forma alinhada ao conceito de neutralidade de rede, conforme detalhado no 0.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 2 é oferecida uma definição particular para o termo “neutralidade de rede”; são apresentados o histórico e a revisão bibliográfica sobre o tema; e são discutidos alguns aspectos relevantes de discriminação e gerenciamento de tráfego da Internet no contexto da neutralidade de rede, especialmente as exceções à regra de não discriminação.

O Capítulo 3 apresenta o Modelo de Alocação de Banda Generalizado – G-BAM e explica como ele reproduz o comportamento dos principais BAMs, inclusive o AllocTC-Sharing.

No Capítulo 4 é explicado como o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing pode ser utilizado em conformidade com a neutralidade de rede; é proposto um mapeamento não discriminatório de aplicações e serviços em Classes de Tráfego; e, finalmente, é realizada a avaliação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing sob a perspectiva do atendimento à neutralidade de rede (regra de não discriminação e suas exceções). Para atingir este objetivo, são aplicados dois cenários de simulação diferentes.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 NEUTRALIDADE DE REDE

Neste capítulo, uma definição particular para o termo “neutralidade de rede” é oferecida na seção 2.1. A seção 2.2 encerra o histórico e a revisão bibliográfica sobre o tema. A seção 2.3 discute aspectos relevantes de discriminação e gerenciamento de tráfego da Internet no contexto da neutralidade de rede.

### 2.1 DEFINIÇÃO DO TERMO NEUTRALIDADE DE REDE

O termo *network 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”, comum em outros trabalhos (MENEZES, 2016) e na legislação brasileira (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016; BRASIL. LEI Nº 12.965, 2014), em que “rede” é associada às estruturas de rede dos ISPs que fazem parte do conglomerado de redes que é a Internet.

Este trabalho opta por utilizar o termo “neutralidade de rede”.

O contexto no qual está inserida a neutralidade de rede é a Internet. Ela não abrange as redes privadas, por exemplo. O conceito de neutralidade de rede é amplo e envolve perspectivas econômicas, ideológicas, sociais e técnicas dos quatro principais atores<sup>5</sup> dessa discussão:

- a) Os provedores do serviço de Internet (ISPs), também referenciados no Brasil como provedores de acesso (RAMOS, 2015), prestadoras de banda larga (MENEZES, 2016), provedores de conexão (BRASIL. LEI Nº 12.965, 2014) e prestadoras do Serviço de Comunicação Multimídia – SCM (ANATEL, 2013), comumente referenciados apenas como Operadoras: são as empresas responsáveis pela transmissão, comutação ou roteamento de dados na Internet. Em outras palavras, são as fornecedoras do serviço de acesso à Internet.
- b) Os Provedores de Aplicações: empresas ou indivíduos que oferecem serviços, conteúdo ou aplicações por intermédio da Internet.

---

<sup>5</sup> Considerando uma representação simplificada do ecossistema da Internet. Em adição aos três atores comumente considerados como relevantes nas discussões da neutralidade da rede, foi adicionado o quarto: as Autoridades Reguladoras Nacionais, em razão do seu papel de debate e fiscalização das regras de neutralidade de rede. Não foram representados, em razão do objetivo da ilustração, outros atores citados em (MAILLÉ, SIMON e TUFFIN, 2016), como as redes de trânsito, serviços na nuvem e fabricantes de equipamentos.

- c) Os usuários dos serviços: são os usuários finais, sejam assinantes ou não, dos serviços de acesso à Internet ou dos serviços prestados pelos provedores de aplicações.
- d) Autoridades Reguladoras Nacionais - ARNs: agências ou órgãos com função de regulação do setor de telecomunicações.

As interações entre os três primeiros atores são fortemente governadas por interesses econômicos e isso impacta no papel social da Internet. Não obstante, todos têm em comum o interesse no desempenho e na qualidade das aplicações e dos serviços que funcionam através da Internet, pois, do contrário, este ecossistema não seria lucrativo tampouco funcional. A Figura ilustra os principais atores do ecossistema da Internet e suas inter-relações<sup>6</sup>.

Figura 1 – Os principais atores do ecossistema da Internet



Fonte: Adaptado de Maillé, Simon e Tuffin (2016).

A maior parte do debate sobre o assunto ocorreu fora do Brasil e a literatura acadêmica e discussões sobre o assunto, em sua maioria, está escrita em língua inglesa. Os termos na língua inglesa mais utilizados são *Network Neutrality* ou sua forma mais curta *Net Neutrality*. Somados, esses dois termos aparecem respectivamente em mais de 3 milhões e meio de páginas na Internet. Já os termos “neutralidade de rede” e “neutralidade da rede” aparecem em pouco mais de 340 mil páginas da Internet<sup>7</sup>.

O único consenso sobre o termo encontrado na literatura consultada é que não existe uma conformidade para sua definição. O termo tem sido utilizado de forma ampla para descrever o livre acesso à Internet, o que, para autores como Tim Wu (WU, 2003a), não é muito preciso. Ele aponta que é melhor entender a neutralidade de rede como um fim e o livre acesso à Internet como um meio para atingir este fim.

<sup>6</sup> Setas representam uma relação de provedor-usuário (vendedor-comprador).

<sup>7</sup> Pesquisa no Google em 19/09/2016.

O próprio Wu define o termo: a neutralidade de rede é um princípio de projeto de rede. “A ideia é que uma rede de informação pública trate todos os conteúdos, sites e plataformas de forma igual. Isso permite que a rede transporte todas as formas de informação e suporte cada tipo de aplicação” (WU, 2003b).

Outros autores utilizam esse termo para caracterizar o tratamento em condições iguais de aplicações, conteúdos e serviços que trafegam pela Internet e a importância da transparência nas práticas de gerenciamento de tráfego. Scott Jordan (JORDAN, 2007), por exemplo, entende que o termo representa o conceito de que os usuários finais da Internet utilizam um serviço que não discrimina com base em sua origem, destino ou titularidade do tráfego de dados.

Barbara van Schewick (SCHEWICK, 2015), por sua vez, explica que a neutralidade de rede tem o objetivo de salvaguardar o direito dos usuários finais de utilizar as aplicações, conteúdos e serviços escolhidos sem a discriminação (interferência) dos ISPs. Ela lembra, porém, que existe considerável incerteza sobre a interpretação do termo “neutralidade” e que, dependendo da interpretação, poderá capturar menos instâncias de discriminação do que seus proponentes tinham em mente.

A definição trazida pelo 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”.

Assim, considerando a pluralidade de definições e os conceitos presentes na literatura consultada, este trabalho oferece a seguinte definição para o termo “neutralidade de rede”, que se apresenta como uma regra de não discriminação:

**A neutralidade de rede é um princípio de operação de rede a partir do qual todos os pacotes que nela trafegam são tratados de forma isonômica<sup>8</sup>, independentemente de seu conteúdo, aplicação, serviço, dispositivo, origem ou destino.**

---

<sup>8</sup> O termo “isonômica”, em lugar de “igualitária”, captura de forma mais completa o conceito de tratamento não discriminatório, na medida em que abarca a possibilidade de tratamento diferenciado entre aplicações não concorrentes e com funções diferentes. Esta é a principal diferença entre a nova definição oferecida e as outras presentes na literatura pesquisada.

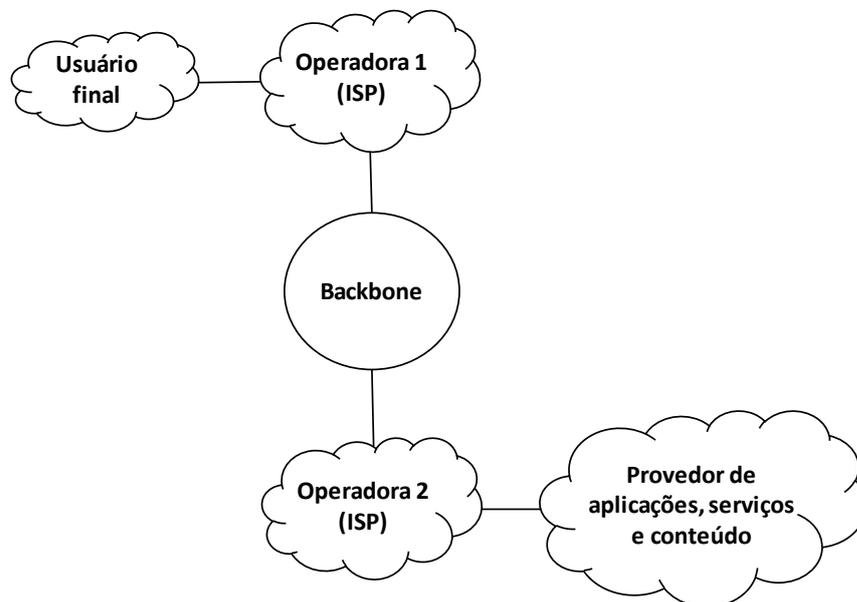
## 2.2 HISTÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção traz o histórico das discussões acerca da neutralidade de rede, incluindo exemplos de casos de discriminação de tráfego e apresenta uma revisão bibliográfica com os conceitos mais relevantes discutidos dentro do tema.

O debate em torno da neutralidade de rede tomou forma nos Estados Unidos da América e seguiu em outros lugares como Chile, França, Brasil e Europa (com o lançamento de diversas consultas públicas pelos órgãos legisladores e reguladores) dentro de um contexto de preocupações sobre os modelos de negócios dos grandes ISPs.

É conhecido que as operadoras lidam com diversas tendências desafiadoras, como 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*).

Figura 2 – Arquitetura simplificada da Internet



Fonte: Adaptado de Schuett (2010).

No sistema atual, tanto os usuários finais quanto os provedores de aplicações (que neste contexto são também usuários) remuneram os seus respectivos ISPs para se conectar à Internet, conforme ilustrado na Figura . Os usuários finais remuneram também os provedores de aplicações pelo serviço disponibilizado. Contudo, alguns ISPs entendem que deveriam

receber uma parte dessa quantia em razão de que este tráfego é dispendioso (em termos de recursos de rede) e é transmitido aos usuários finais através de sua infraestrutura.

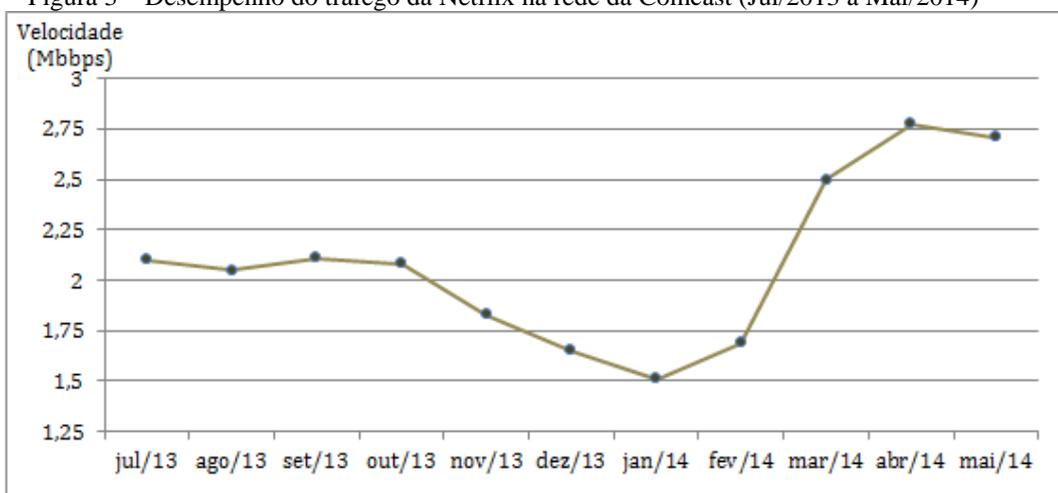
Uma parte desse debate incluiu a possibilidade de implementação de normas e regulamentos que disciplinassem o que as detentoras das redes de acesso à Internet poderiam ou não fazer com o tráfego destinado a seus clientes. Uma das questões centrais era a habilidade das operadoras praticarem tratamento diferenciado para o tráfego originado em determinados provedores de aplicações.

Disputas entre provedores de aplicações, ISPs e usuários finais esquentaram o debate e foram aceleradores do surgimento de normas reguladoras. Em Ramos (2015) Marcus (2014) são disponibilizados exemplos de relevantes casos de discriminação de tráfego que afetaram provedores de conteúdo e usuários finais. Pode-se citar os seguintes:

- a) Em 2004, usuários do Skype relataram que a Brasil Telecom estava bloqueando o tráfego de dados deste aplicativo;
- b) Em 2005, a Autoridade Reguladora dos Estados Unidos da América para as Comunicações (FCC - *Federal Communications Commission*) investigou a *Madison River Telephone Company*, após denúncias de que essa estaria bloqueando o uso de aplicações VoIP em sua rede;
- c) Em 2006, a operadora canadense Shaw passou a cobrar uma taxa adicional de 10 dólares canadenses para que os usuários pudessem utilizar aplicações VoIP em sua rede;
- d) Em 2007, a FCC recebeu reclamações de que a Comcast (maior ISP a cabo dos EUA) interferia ativamente no tráfego de BitTorrent, “resetando” seus pacotes. O *reset* não bloqueava tecnicamente o tráfego, mas o atrasava suficientemente para que o serviço se tornasse inviável.
- e) Em 2012, a Netflix acusou a Comcast de degradar intencionalmente a qualidade do tráfego de seus serviços em detrimento ao tráfego dos serviços da concorrente Xfinity, de propriedade da Comcast. Em fevereiro de 2014, a Netflix chegou a um acordo envolvendo pagamentos à Comcast. A
- f) Figura mostra o desempenho do serviço da Netflix na rede da Comcast antes e depois do acordo. Para nenhum outro ISP o tráfego Netflix obteve tal comportamento durante o mesmo período (MARCUS, 2014).

Discussões patrocinadas por organismos setoriais, como a União Internacional de Telecomunicações – UIT (WEBB; HENDERSON, 2012), também enfrentaram a tarefa de defender a isonomia e os princípios de universalidade no complexo sistema que é a Internet. Foram oferecidas diretrizes para o uso de discriminação de tráfego e de QoS sob a perspectiva da neutralidade de rede, a fim de limitar a capacidade das operadoras de interferir no tráfego de aplicações, conteúdos e serviços em suas redes. Neste trabalho também são abordadas questões técnicas relacionadas à gestão de tráfego para ajudar a identificar qual nível de controle sobre a rede é razoável ou necessário.

Figura 3 – Desempenho do tráfego da Netflix na rede da Comcast (Jul/2013 a Mai/2014)



Fonte: Traduzido e adaptado de Marcus (2014).

Em Webb e Henderson (2012) são identificadas algumas nações que publicaram resoluções regulatórias sobre neutralidade de rede, como o Chile, Brasil, União Europeia, Japão, Singapura e Estados Unidos da América. Três regras majoritariamente comuns podem ser destacadas:

- a) Proibição de bloqueio de conteúdo legal, aplicativos e serviços;
- b) Permissão para utilização de mecanismos de gestão de rede, desde que de forma razoável, em circunstâncias definidas; e
- c) Necessidade de divulgação de informações críticas relativas às práticas de gestão de rede, pelas operadoras.

Dois aspectos econômicos da neutralidade de rede são bastante discutidos na literatura: (1) a cobrança realizada pelas operadoras em face dos provedores de conteúdo, com a finalidade de não contabilizar o volume de dados trafegado para o cômputo da franquia do

usuário da operadora; e (2) a cobrança com finalidade de priorizar a entrega do tráfego do provedor de conteúdo, sob a forma de aplicação de níveis de QoS melhores para este tráfego. O primeiro aspecto é conhecido mundialmente como *zero-rating* e o segundo como *fast-lanes* (FCC, 2015; MENEZES, 2016). Um terceiro aspecto econômico discutido são as taxas de terminação, quando uma operadora cobra de um provedor de aplicação para entregar seu tráfego aos usuários.

Lee e Wu (2009) acreditam que as *fast-lanes* são opções mais vantajosas do que as taxas de terminação. Eles também acreditam que o *zero-rating* tem efeito positivo. Em ambos os casos, eles ressaltam que essas opções devam ser oferecidas pelas operadoras a qualquer provedor de conteúdo que se mostre interessado. Lee e Wu também destacam a importância de se garantir largura de banda suficiente e qualidade de serviço para a chamada Internet "livre", ou seja, a parte não reservada para aplicações e serviços específicos com alto nível de priorização, conhecidos como na literatura como serviços especializados<sup>9</sup>.

Outra questão bastante discutida é a consequência da existência de regras de não discriminação de tráfego. Faulhaber (2011) e Schuet (2010) parecem concordar que regras de não discriminação podem ter efeitos ambíguos, ou seja, podem tanto incrementar como diminuir os investimentos na capacidade de rede com consequências no bem-estar social no longo prazo. Pathania e Kalra (2012), por sua vez, pontuam que a discriminação pode tornar algumas aplicações inviáveis, embora seja essencial para responder aos desafios da Internet em seu estágio atual. O uso de aplicações com consumo intensivo de largura de banda está em ascensão e essa tendência só vai acelerar no futuro. A Internet encara um risco substancial de ficar congestionada com o aumento do consumo de banda *per capita*. As operadoras terão que inovar para controlar e gerenciar suas redes de forma eficaz.

Tardiff (2015) afirma que a insuficiente concorrência entre as operadoras é que pode efetivamente provocar discriminação anticoncorrencial a favor ou contra determinados provedores de conteúdo.

Muitos outros autores oferecem recomendações sobre o que as ARNs deveriam permitir que as operadoras controlassem em suas redes, mas poucos têm tentado explicar como um gestor de rede poderia implementar suas ideias, tecnicamente falando. Alguns trabalhos oferecem reflexões a partir de uma abordagem técnica sobre os debates políticos e normativos, explicando como a neutralidade de rede e discriminação de tráfego (baseada ou

---

<sup>9</sup> Refere-se ao fornecimento de uma banda separada e adicional para a casa do cliente destinada à utilização do "serviço especializado", a qual é distinta da banda utilizada pelo cliente para o serviço de acesso à internet regular (MENEZES, 2016).

não em QoS) podem alcançar os mesmos objetivos e exploram possíveis soluções que envolvem a gestão de recursos de rede.

Wu (2003a) não apresenta uma solução técnica, mas mostra um princípio implementável de neutralidade de rede e descreve como seria o comportamento das operadoras nesse 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 qualidade de serviço sejam garantidas. Assim, a ausência de gestão de largura de banda pode interferir no desenvolvimento de aplicações e inclusive na competição. Ele também acredita que, se as operadoras apenas gerenciarem a banda disponível, o resultado seria um ambiente mais competitivo.

O princípio proposto por Wu objetiva encontrar um equilíbrio: proibir operadoras de restringir o que os usuários fazem com sua conexão de Internet dando liberdade à operadora para gerenciar o consumo de banda. Uma das sugestões do autor é ter limites neutros sobre o uso da banda.

Jordan (2007) propõe uma política de neutralidade de rede com base na estrutura em camadas da Internet que acomode convergência. A política sugerida mostra como uma regulamentação poderia proibir comportamento anticoncorrencial sem restringir formas desejáveis de gestão da rede. Essa abordagem viabiliza o uso de técnicas de gerenciamento de rede não discriminatórias, inclusive QoS, e permite que o usuário ou provedor de conteúdo pague por qualidade de serviço.

Uma solução técnica para o problema da neutralidade utilizando uma arquitetura QoS é proposta em (WÓJCIK, 2011). O autor propõe o uso de *Flow-Aware Networking* (FAN) para assegurar diferenciação implícita de serviço baseada apenas nas características do tráfego, sem qualquer possibilidade de interferência indesejada por parte das operadoras ou usuários da Internet. Segundo o trabalho, a operação da rede permaneceria neutra, ainda que oferecesse diferenciação de serviço. Para conseguir isso, FAN adicionaria dois blocos em um roteador IP padrão: bloco de agendamento e bloco de controle de admissão. A gestão de filas no FAN realizar-se-ia no agendamento. Segundo o autor, o enfileiramento justo garantiria que a banda do *link* fosse dividida igualmente.

No FAN não haveria nenhuma distinção explícita de classe de serviço. Tanto *streaming* quanto fluxos elásticos estariam classificados com base na taxa de pico de fluxo corrente. Todos os fluxos emitindo taxas mais baixas do que a taxa corrente, que o autor

chama de justa, seriam classificados como fluxos de *streaming* e os pacotes desses fluxos seriam priorizados. Os fluxos restantes seriam classificados como fluxos elásticos.

A Comcast, maior ISP via cabo dos Estados Unidos da América publicou por intermédio da RFC 6057 (MILLS, 2010) a descrição do seu sistema de gerenciamento de congestionamento, aplicado em sua rede de acesso do tipo DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*). Em resumo, a prática de gerenciamento identifica quais assinantes estão utilizando os maiores volumes de largura de banda e aplica um gerenciamento temporário no tráfego até que o congestionamento termine. Em razão dessa prática, esses assinantes poderão experimentar níveis menores de qualidade na prestação do serviço, como, por exemplo, um maior tempo para *downloads* e *uploads* de arquivos bem como de acesso a páginas da Internet.

Schewick (2015), assim como Wu, não apresenta uma solução técnica, mas propõe oito possíveis regras de neutralidade de rede, sendo que em algumas delas não ocorre distinção entre aplicações (*application-blindness*). Segundo a autora, uma rede do tipo *application-blind* é incapaz de fazer distinções entre os pacotes de dados com base nas informações de aplicações ou serviços específicos.

Uma abordagem específica dada por Schewick permite a discriminação entre classes de aplicações que não são iguais. Essa regra permite que as operadoras tratem classes de aplicações de forma diferente, desde que elas tratem tipos de tráfegos similares da mesma forma, por exemplo, classificando-os dentro de uma mesma classe de tráfego. Dessa forma, uma operadora seria autorizada a tratar uma chamada VoIP de forma diferente de uma mensagem de e-mail (por exemplo, fornecendo um serviço de baixo atraso para o VoIP, mas não para e-mail), mas não seria permitido tratar o WhatsApp diferentemente do Skype; ou o Gmail diferentemente do Hotmail.

Da bibliografia elencada, destacam-se os seguintes conceitos defendidos dentro do escopo da neutralidade de rede e do gerenciamento de redes:

- a) A necessidade do controle e gerenciamento das redes de forma eficaz em resposta ao uso intensivo da banda e ao congestionamento das redes, com o objetivo de proteger a experiência do usuário.
- b) A necessidade de largura de banda suficiente e qualidade de serviço garantida para que todas as classes de aplicações funcionem corretamente.
- c) A possibilidade de aplicação de diferenciação de serviço baseada apenas nas características do tráfego, inclusive com uso de QoS.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** reproduz um resumo da avaliação dos modelos de regulação da neutralidade de rede identificados na literatura.

Tabela 1 – Modelos de regulação da neutralidade de rede

<b>Modelo de regra</b>	<b>Práticas vedadas</b>	<b>Práticas permitidas</b>	<b>Segurança jurídica</b>	<b>Gerenciamento de tráfego</b>
<b>Neutralidade absoluta</b>	Todo e qualquer gerenciamento de tráfego, incluindo a aplicação de QoS, ainda que escolhidas pelo usuário.	Não há exceções	(+) Atores tem boa segurança jurídica em relação às práticas permitidas e vedadas.	(-) Provedores de acesso têm pouca liberdade para implementar técnicas de gerenciamento de tráfego. (+/-) Provedores de acesso têm boa liberdade para implementar técnicas de gerenciamento de tráfego, mas não podem discriminar aplicações específicas caso a exceção não esteja prevista na regulação.
<b>Regime de exceções</b>	Qualquer discriminação específica entre aplicações e classes de aplicações.	Somente aquelas expressamente autorizadas pela regulação.	(+) Os critérios de discriminação são bem definidos pela regulação.	(+/-) Tende a haver mais liberdade para implantação de técnicas de gerenciamento de tráfego, mas é incerto.
<b>Discriminação razoável</b>	Em regra, é vedado todo e qualquer gerenciamento de tráfego.	As exceções são avaliadas de acordo com um critério de razoabilidade.	(-) Atores tem baixa segurança jurídica.	(+/?)
<b>Tratamento isonômico</b>	Discriminação entre aplicações com funções idênticas ou semelhantes.	Discriminação entre aplicações e classes de aplicações diferentes.	(-) Inovadores não têm critérios objetivos para entender se sua nova aplicação está ou não sujeita à discriminação.	de técnicas de gerenciamento de tráfego, mas é incerto. (+/-) Provedores de acesso têm grande liberdade para implementar técnicas de gerenciamento de tráfego.

Fonte: Ramos (2015).

### 2.2.1 A importância da Neutralidade de rede

Um conjunto de potenciais problemas pode crescer e afetar a sociedade (como usuários da Internet) se práticas não razoáveis de discriminação de tráfego não forem proibidas. Alguns exemplos estão listados em (MARCUS, 2014):

- a) Comportamento anticompetitivo: uma operadora com significativo poder de mercado pode utilizar este poder para forçar o mercado de forma não competitiva, discriminando o tráfego de dados de alguma maneira que os prejudique.

- b) Inovação e investimento: Uma operadora com poder de mercado significativo inibe a habilidade que provedores de conteúdo concorrentes têm de oferecer produtos novos e inovadores. Por exemplo, uma operadora que oferte VoIP pode fazê-lo de forma diferenciada (não descontando o volume de dados trafegados da franquia do usuário) de forma que o custo do serviço do concorrente, supostamente inovador e mais atraente, se torne inviável.
- c) Liberdade de expressão: uma operadora pode interferir nos conteúdos trafegados por seus usuários finais, por razões políticas, religiosas, concorrenciais, etc. Por exemplo, determinada operadora pode filtrar mensagens que contenham *links* para páginas de determinado grupo de mídia ou mensagens com determinados assuntos.
- d) Privacidade e proteção de dados: uma operadora pode inspecionar o conteúdo dos pacotes (técnica conhecida como *Deep Packet Inspection* – DPI).

Outras práticas que podem ocorrer em ambientes sem regulação sobre o tema se referem à informação e proteção ao consumidor, como, por exemplo, não disponibilização aos consumidores de informações que os façam entender o serviço que está sendo prestado, se existem limitações e se o mesmo está sendo prestado da forma como foi contratado. Exemplo: um consumidor pode não ter sido avisado que a operadora pratica determinado tipo de gerenciamento de tráfego que o impede de utilizar serviço de *downloads* de arquivos do tipo *torrent*.

## 2.3 GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO NO CONTEXTO DA NEUTRALIDADE DE REDE

Gerenciamento de tráfego é essencial para a implementação de medidas de qualidade em redes IP. Esta seção discute alguns aspectos relevantes de discriminação e gerenciamento de tráfego no contexto da neutralidade de rede.

### 2.3.1 Gerenciamento de Tráfego

O gerenciamento ou gestão de tráfego pode ser definido como um conjunto de técnicas que podem ser usadas por um ISP para planejar e alocar recursos disponíveis com a finalidade de atingir um desempenho ideal em diversas classes de usuários, especialmente em tempos de potencial congestionamento extremo na rede (WEBB; HENDERSON, 2012). Segundo

Fineberg (2003), enquanto o gerenciamento da capacidade da rede e o planejamento da rede visam a performance futura da rede, o gerenciamento de tráfego refere-se ao uso otimizado dos recursos de rede atuais, sob condições diferentes da rede, como subutilização, congestionamento ou falhas.

Gerenciamento de tráfego inclui funções nodais de controle de tráfego, como condicionamento de tráfego, gerenciamento de filas, agendamento (*scheduling*) e outras funções que regulam o fluxo de tráfego através da rede ou que arbitram o acesso a recursos da rede entre diferentes pacotes ou entre diferentes fluxos de tráfego (AWDUCHE; CHIU, *et al.*, 2002).

A Internet é baseada no conceito de uma arquitetura em camadas na qual cada uma delas provê certas funcionalidades. O modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) contém 7 camadas enquanto que o modelo de referência TCP/IP (também chamado de modelo Internet) contém apenas 4 camadas, conforme ilustrado na Figura . Segundo (JORDAN; GHOSH, 2009), técnicas de gerenciamento de tráfego podem ser aplicadas em qualquer uma das camadas.

Figura 4 – Modelos de camadas OSI e Internet

7	aplicação		
6	apresentação		aplicação
5	sessão		
4	transporte		transporte (TCP)
3	rede		inter-redes (IP)
2	enlace de dados		
1	física		Host/rede
	<b>camadas OSI</b>		<b>camadas da Internet</b>

Fonte: Adaptada de Jordan (2007); Tanenbaum (2003).

Um roteador de rede geralmente contém as camadas 1 a 3 do modelo OSI, enquanto que os usuários finais, considerando as aplicações juntamente com seus dispositivos de acesso à Internet, geralmente utilizam as camadas 1 a 7.

As diferentes técnicas de gerenciamento de tráfego podem ser classificadas em três categorias, como proposto em (BEREC, 2011):

1. Técnicas executadas na camada de rede nos nós internos da rede<sup>10</sup>, como as que gerenciam fluxos de pacotes, classes de tráfego ou níveis de prioridades (DiffServ, IntServ e MPLS) ou ainda as executadas pacote-a-pacote (esquemas de agendamento de pacotes e gerenciamento de filas, como RED - *Random Early Detection*, WFQ - *Weighted Fair Queueing* e PQ - *Priority Queueing*).
2. Técnicas executadas acima da camada de rede nos pontos finais (*endpoints*), como o controle de congestionamento.
3. Técnicas tipicamente executadas acima da camada de rede (transporte e aplicação) nos nós internos da rede, como inspeção de conteúdo dos pacotes (DPI) e *traffic shaping*.

### 2.3.2 Hipóteses de discriminação de tráfego previstas em legislação

Tratamento isonômico ou igualitário não implica necessariamente que todos os usuários finais vão experimentar a mesma performance de rede ou a mesma qualidade de serviço. Existe tratamento igualitário entre pacotes de dados enquanto eles forem processados de forma agnóstica em relação ao conteúdo acessado ou distribuído, aplicação ou serviço utilizado, bem como ao usuário remetente ou destinatário, mesmo que isso implique em performance de transmissão variável, em termos de atraso e *jitter*, por exemplo (BEREC, 2016).

Documentos regulatórios (BEREC, 2016; FCC, 2015) e trabalhos acadêmicos (SCHEWICK, 2015; JORDAN; GHOSH, 2009; BELLI, 2016) discutem as práticas conhecidas como Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável/necessário<sup>11</sup>. Tais práticas são desvios legais, ou exceções, ao princípio de não discriminação da neutralidade de rede.

De fato, as legislações em vigor preveem a implementação de medidas de ITM razoável. Na Europa, utiliza-se a expressão “gerenciamento de tráfego razoável” (*reasonable traffic management*). Nos EUA, a expressão utilizada é “gerenciamento de rede razoável” (*reasonable network management*). No Brasil não é utilizada uma expressão específica, mas fala-se em discriminação ou degradação de tráfego “justificável”.

---

<sup>10</sup> Esta categoria se refere a métodos de gerenciamento de pacotes dentro da rede que estabelecem diferentes classes de tráfego ou níveis de prioridade, permitindo que fluxos específicos de tráfego experimentem um melhor desempenho. Neste caso, a configuração da rede inclui, tipicamente, um controlador que limita o tráfego dentro de cada classe, e separa as filas por classe de tráfego dentro da rede.

<sup>11</sup> Tradução livre para o termo “*due/reasonable Internet Traffic Management*” (BELLI, 2016). Neste trabalho, deste ponto em diante, será utilizado apenas termo abreviado ITM razoável.

A Autoridade Reguladora dos Estados Unidos da América (FCC, 2015), define uma prática de gerenciamento de rede razoável:

*Uma prática de gerenciamento de rede é razoável se for utilizada para atingir um propósito de gerenciamento de rede legítimo, levando-se em conta as particularidades da arquitetura de rede e tecnologia utilizada pelo ISP.*

A FCC especifica os princípios determinantes de razoabilidade: **transparência, controle do usuário final<sup>12</sup> e métodos agnósticos<sup>13</sup>.**

Funções de gerenciamento de rede relacionadas à segurança da rede e gerenciamento de congestionamento são consideradas apropriadas ao escopo da neutralidade de rede. Segundo (FAULHABER, 2011), a FCC escolheu a abordagem que reconhece a necessidade de gerenciamento de rede, desde que não seja utilizada para outros fins. Na opinião de Faulhaber, as regras como foram escritas estão próximas das melhores práticas utilizadas pelos ISPs.

Na Europa, a Autoridade Reguladora (BEREC, 2016) lista as condições para as medidas de gerenciamento de tráfego serem consideradas razoáveis:

*As medidas razoáveis devem ser transparentes, não discriminatórias e proporcionais, e não devem se basear em considerações comerciais, mas sim nos diferentes requisitos técnicos das aplicações.*

É feita a ressalva de que tais medidas não devem inspecionar o conteúdo dos pacotes (pela possibilidade de se configurar invasão de privacidade) e não devem ser mantidas por mais tempo do que o necessário. Segundo (BELLI, 2016), a regulação europeia sobre as práticas de ITM é mais restritiva que a da FCC.

No Brasil, a legislação vigente (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016; BRASIL. LEI Nº 12.965, 2014) prevê as hipóteses de discriminação de tráfego possíveis:

*A discriminação ou degradação do tráfego somente poderá decorrer de (I) requisitos técnicos indispensáveis à prestação adequada dos serviços e aplicações; e (II) priorização de serviços de emergência<sup>14</sup>.*

---

<sup>12</sup> O controle do usuário final é um indicador importante de razoabilidade quando a prática é aplicada a pedido dos usuários – como bloqueio de conteúdo ou controle parental –, que podem inclusive desativá-la (MARCUS, 2014). Mecanismos com este controle são menos prováveis de interferir de forma não razoável ou causar uma desvantagem que afete a capacidade do usuário final de usar a Internet como ele achar conveniente. Contudo, pode haver práticas controladas inteiramente por ISPs que satisfaçam a regra de não interferir de forma não razoável ou causar desvantagens (FCC, 2015). Como ressalva, a FCC considera que, em qualquer caso, tais práticas devem ser totalmente transparentes para o usuário final.

<sup>13</sup> Métodos agnósticos não interferem nas escolhas dos usuários finais - como conteúdo, aplicações, serviços ou dispositivos utilizados - nem distorcem a concorrência ou criam desvantagem injustificada a determinados provedores de aplicações.

***Na hipótese de discriminação ou degradação do tráfego, o responsável deve agir com proporcionalidade, transparência e isonomia.***

A legislação brasileira permite o gerenciamento de redes com o objetivo de preservar sua estabilidade, segurança e funcionalidade, utilizando-se apenas de medidas técnicas compatíveis com os padrões internacionais, desenvolvidos para o bom funcionamento da Internet.

Assim, a discriminação de tráfego vedada é aquela aplicada a serviços e aplicações com os mesmos requisitos funcionais, não sendo uma infração ao princípio da neutralidade de rede o tratamento diferenciado a serviços de emergência e a aplicações que apresentem distintos requisitos funcionais. Considera-se isonômica a manipulação dos pacotes de dados para satisfazer a adequada prestação aos usuários da Internet. Trata-se de assegurar a qualidade dos serviços prestados e de se atingir uma boa experiência para os consumidores, não se confundindo, no entanto, com o tratamento discriminatório com fins comerciais.

Considerando as obrigações elencadas nas legislações supramencionadas, pode-se concluir que, para uma prática, ou mecanismo, de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) se qualificar como “razoável”, e assim atender às regras de neutralidade de rede, os seguintes requisitos devem ser alcançados:

1. Ser transparente.

As empresas devem adotar medidas de transparência para dar publicidade<sup>15</sup> aos usuários finais dos motivos do gerenciamento que impliquem na discriminação envolvida (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016). Dessa forma, os consumidores podem fazer escolhas a partir das informações sobre as práticas de gerenciamento de rede adotadas (FCC, 2015).

2. Ter um propósito de gerenciamento legítimo.

É considerada necessária e 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 (FCC, 2015). Entende-se que a neutralidade de rede não impede que os ISPs implementem diferenciação de serviço, sob certos

---

<sup>14</sup> O acionamento da polícia militar e civil, corpo de bombeiros, serviço público de remoção de doentes (ambulância), serviço público de resgate a vítimas de sinistros e defesa civil; bem como o envio da localização do usuário que chama um serviço público de emergência são exemplos de serviços de emergência previstos pela ANATEL (ANATEL. ANÁLISE Nº 20/2016/SEI/AD, 2015).

<sup>15</sup> Pode ser considerada dispensável a publicidade de informações confidenciais bem como informações que comprometam a segurança da rede ou diminuam a eficácia do mecanismo de gerenciamento adotado (FCC, 2015).

critérios objetivos, com o propósito de otimizar a qualidade global da transmissão (BEREC, 2016).

3. Ser isonômica (não discriminatória) e baseada em considerações técnicas.

Qualquer medida de gerenciamento que envolva diferenciação de serviço não deve ser discriminatória. Para tal, deve ser baseada 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 (BEREC, 2016). Tal diferenciação só pode derivar do tipo de aplicação (vídeo, áudio, texto, *online* ou *batch*), conforme padrões internacionais, mas nunca pelo fornecedor do conteúdo. Por exemplo, duas aplicações de vídeo *online* que se enquadrem em uma mesma classe não podem ser tratadas de maneira distinta na rede para favorecer um provedor de conteúdo A em detrimento de um provedor B (ANATEL. ANÁLISE Nº 20/2016/SEI/AD, 2015).

4. Ser proporcional.

Deve haver evidências que comprovem que a ação de gerenciamento alcança o propósito definido e a ação deve ser necessária para se atingir o propósito bem como deve ser a forma menos interferente de atingi-lo (BEREC, 2016).

5. Ser excepcional.

As intervenções no tráfego, isto é, a discriminação ou a degradação de tráfego, são medidas excepcionais (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016) e não devem ser mantidas por mais tempo do que o necessário (BEREC, 2016).

### 3 MODELO DE ALOCAÇÃO DE BANDA GENERALIZADO (G-BAM) E O COMPORTAMENTO ALLOCTC-SHARING

Este Capítulo apresenta as principais características de operação do Modelo de Alocação de Banda Generalizado – G-BAM e explica como ele reproduz o comportamento dos principais BAMs, inclusive o AllocTC-Sharing.

#### 3.1 CONTEXTO

Antes de descrever a operação do G-BAM e do comportamento AllocTC-Sharing, segue uma breve contextualização das redes IP/MPLS/DS-TE, nas quais se insere a prática de gerenciamento proposta. Descrições mais completas da operação do MPLS e das redes DS-TE podem ser encontradas em (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001; GHEIN, 2006) e (LE FAUCHEUR; LAI, 2003), respectivamente.

##### 3.1.1 MPLS (Multiprotocol Label Switching)

O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) foi padronizado pelo IETF - *Internet Engineering Task Force* por intermédio da RFC 3031 (ROSEN; VISWANATHAN; CALLON, 2001) e opera numa camada OSI intermediária às definições tradicionais do *layer 2* (enlace) e *layer 3* (rede). O MPLS é, segundo (FINEBERG, 2003), uma tecnologia que permite o uso de QoS na medida em que força fluxos de aplicações para caminhos orientados a conexão e fornece mecanismos de engenharia de tráfego e garantia de largura de banda ao longo desses caminhos.

Em redes de computadores os cabeçalhos dos pacotes IP são lidos e, com base na sua tabela de rotas, encaminhados para uma determinada interface de saída (*Table Lookup*) de cada roteador. Essa tarefa é mais crítica para roteadores de núcleo da rede, nos quais essas tabelas podem crescer em tamanho devido à tendência de crescimento do tráfego de pacotes. As redes MPLS atuam para reduzir a análise e processamento do cabeçalho IP nos roteadores, e assim, contribuem para a melhoria do desempenho do roteamento.

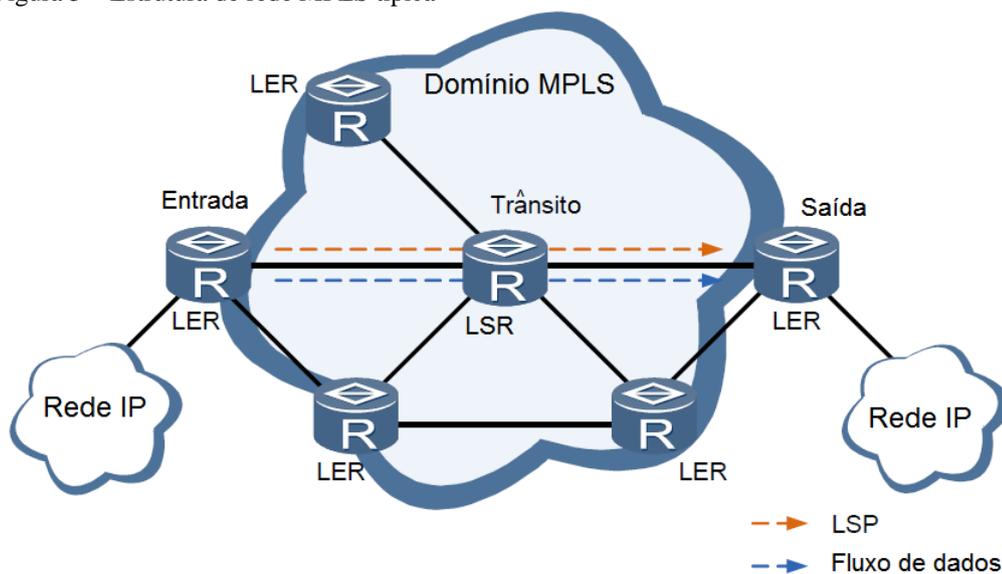
Uma rede habilitada a MPLS utiliza rótulos (*labels*) para agregar fluxos que possuem as mesmas necessidades de encaminhamento, transformando o roteamento de pacotes em comutação de rótulos, por intermédio de uma busca indexada em uma tabela de rótulos, evitando consultas complexas nas tabelas de rotas. O cabeçalho MPLS que contém o rótulo é

colocado entre os cabeçalhos da camada de enlace e camada de rede, permitindo-se trabalhar de forma independente dos protocolos dessas. Em razão dessa característica, o MPLS é definido como multiprotocolo (*multiprotocol*).

As redes MPLS utilizam dois tipos de roteadores: os (1) *Label Switch Routers* (LSRs) e os (2) *Label Edge Routers* (LERs), conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura .

1. Os LSRs são roteadores de núcleo que utilizam apenas os rótulos como índice para uma busca indexada em sua tabela de informação de encaminhamento por rótulo – *Label Information Base* (LIB), sendo essa a única informação necessária para o encaminhamento dos pacotes (*forwarding*). Os LSRs não precisam analisar o cabeçalho dos pacotes IP para encaminhá-los. Vale ressaltar também que os LSRs se comunicam através do protocolo LDP (*Label Distribution Protocol*), com a finalidade de manter atualizadas as tabelas de encaminhamento do domínio.
2. Os LERs são roteadores de borda que têm por objetivo ler os cabeçalhos IP e designar um rótulo que será utilizado pelos LSRs, com a finalidade de encaminhar os pacotes em um domínio MPLS. Outra função dos LERs é atribuir uma classe de equivalência de encaminhamento (*Forward Equivalence Class – FEC*). Quando um LER está na saída do domínio MPLS, ele é responsável pela retirada do rótulo. São também chamados de *Provider Edge* (PE) (DOVERSPIKE; RAMAKRISHNAN; CHASE, 2010).

Figura 5 – Estrutura de rede MPLS típica



Fonte: Traduzido e adaptado de Huawei (2014).

Dessa forma, a operação de uma rede MPLS implica na existência de caminhos comutados por rótulos chamados *Label Switched Paths* (LSPs). Os LSPs tornam possível o uso de engenharia de tráfego dentro de um domínio MPLS devido à possibilidade do encaminhamento de pacotes orientados a uma escolha de trajetória fim-a-fim (*path*) e à utilização do mecanismo IP de roteamento explícito na fonte (*IP Source Routing*).

Conforme citado, na entrada de um domínio MPLS, os pacotes são mapeados em FECs, por intermédio dos LERs. O mapeamento dos pacotes às FECs é definido pelo gerente da rede. Dentre outras possibilidades (endereço de destino, endereço de origem, porta de destino, porta de origem, pacotes *multicast* e pacotes com o mesmo tratamento de encaminhamento baseado na classificação DiffServ *Code* predecessora (GHEIN, 2006)), este mapeamento pode ser baseado em Classes de Serviço – CoS. As FECs agrupam pacotes que terão o mesmo tratamento de encaminhamento ao longo de um domínio MPLS. Uma FEC é mapeada em um rótulo inicial que corresponde a um LSP e, dessa forma, todos os pacotes associados a uma FEC seguirão este LSP.

A criação de um LSP decorre de uma atribuição de rótulos ao longo de um caminho conjunto contínuo de LSRs. Assim sendo, os LSPs são considerados como caminhos virtuais fim-a-fim (*Path-LSP*) construídos através da comutação de rótulos nos roteadores MPLS (REALE; MARTINS, *et al.*, 2015). Dessa forma, todos os fluxos mapeados em um determinado LSP seguem o mesmo caminho. Em outras palavras, os pacotes, agrupados em FECs, que tem necessidades de encaminhamento fim-a-fim similares, são encaminhados pelo mesmo *Path-LSP*. Como um LSP é sempre unidirecional, o fluxo de pacotes rotulados entre dois LSRs terá um LSP diferente para cada direção (GHEIN, 2006).

### **3.1.2 DS-TE (Diffserv Aware Mpls Traffic Engineering)**

A arquitetura *DiffServ Aware MPLS Traffic Engineering* (DS-TE) foi proposta na RFC 3564 (LE FAUCHEUR; LAI, 2003) como forma de prover QoS e Engenharia de Tráfego em uma granularidade de classes de tráfego. Segundo (FINEBERG, 2003), o objetivo principal do DS-TE é garantir largura de banda separada para cada tipo de tráfego com a finalidade de otimizar e potencializar o atendimento aos requisitos de QoS, na forma de duas funções: reserva de largura de banda para subconjuntos de tráfego e procedimentos de controle de admissão baseados em classes (*per-class basis*).

As redes DS-TE conservam as características globais de encaminhamento e controle das redes MPLS e, por isso, podem ser consideradas uma evolução das mesmas com suporte a

Engenharia de Tráfego (MPLS-TE - *MPLS Traffic Engineering*). Além disso, introduzem extensões para suportar o conceito de alocação de banda, seleção de caminhos baseado em restrições e estabelecimento de caminho, considerando-se múltiplas classes de tráfego (LE FAUCHEUR, 2005).

Nas redes DS-TE é possível mapear os LSPs em Classes de Tráfego (CT), alocando os recursos necessários fim-a-fim. O mapeamento dos LSPs é realizado no plano de controle por um algoritmo de seleção de caminhos baseado em restrições, como o CSPF (*Constrained Shortest Path First*) (LE FAUCHEUR, 2005). Este, por estar em execução no plano de controle, pode ter acesso à base de dados de Engenharia de Tráfego (*Traffic Engineering Database – TED*) para escolher o melhor caminho não apenas para o novo LSP, mas para a rede como um todo, aumentando assim o número de LSPs que poderão ser atendidos na rede.

O principal diferencial introduzido pelo DS-TE é a possibilidade de agrupar e gerir a qualidade de serviço em Classes de Tráfego. Uma Classe de Tráfego pode ser entendida como o conjunto de troncos de tráfego que passam por um determinado enlace, que está governado por um conjunto específico de restrições de utilização de banda nos enlaces da rede (LE FAUCHEUR; LAI, 2003). Neste sentido, uma Classe de Tráfego pode ser utilizada tanto para os propósitos de alocação da banda, quanto para o roteamento baseado em restrições e para o controle de admissão nas redes DS-TE. Um determinado Tronco de Tráfego pertence à mesma CT em todos os enlaces da rede DS-TE.

É recomendado o uso de no máximo oito CTs (0 a 7). Quanto maior o valor numérico da CT, maior é a sua prioridade. Essa regra implica que CT0 é a CT de menor prioridade. Obviamente, são necessárias pelo menos duas CTs para a aplicação de diferenciação de serviço por classes de tráfego (LE FAUCHEUR; LAI, 2003).

Para evitar a degradação de QoS, o número de LSPs estabelecidos para uma dada classe devem ser correspondentes ao nível médio de QoS que o DS-TE pode fornecer para essa classe. Na tentativa de minimizar essa degradação (inevitável, principalmente em situações de congestionamento), é utilizado controle de admissão no nível de LSPs, por intermédio da aplicação de restrições de banda (*Bandwidth Constraints - BCs*) para as CTs. Em outras palavras, as BCs são utilizadas para determinar o número de LSPs que podem ser simultaneamente estabelecidos para diferentes CTs. Assim, é possível controlar, por exemplo, a variação do atraso para o tráfego sensível a este parâmetro, como aplicações de tempo real) (FINEBERG, 2003).

A configuração das BCs é ponto importante na configuração do BAM, pois pode implicar diretamente no alinhamento (ou desalinhamento) entre o volume de tráfego estabelecido por CT e os níveis de QoS que se quer garantir para cada CT.

As redes DS-TE suportam a configuração de prioridades para casos de efetiva concorrência por recursos da rede. As prioridades em redes DS-TE são divididas em prioridade de estabelecimento (*setup priority*) e prioridade de manutenção (*holding priority*). Se um novo LSPy possuir maior prioridade de estabelecimento do que a prioridade de manutenção do LSPx já estabelecido, este poderá ser removido para o estabelecimento do LSPy. As prioridades de estabelecimento e manutenção podem variar de 0 a 7, sendo 0 (zero) o valor mais prioritário e o valor 7 o valor menos prioritário (REALE; MARTINS, *et al.*, 2015).

O processo de remoção (encerramento) de LSPs, devido à necessidade de liberação de recursos para estabelecer um novo LSP, é chamado de preempção. As preempções são utilizadas em situações de competição de recursos em que é necessário garantir prioridade entre dois ou mais LSPs, ou seja, garantir que o tráfego definido como de maior prioridade possa ser encaminhado de forma mais favorável dentro de um ambiente de diferenciação de serviços. A arquitetura DS-TE introduziu a definição de TE-Classes. Uma TE-Classe é um par ordenado composto pela CT e sua prioridade de preempção (LE FAUCHEUR ; LAI, 2003).

Os dois protocolos mais difundidos para o estabelecimento de caminhos em redes DS-TE são os protocolos *Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering - RSVP-TE*, definido na RFC 3209 (AWDUCHE, BERGER, *et al.*, 2001) e *Constraint based Routing Label Distribution Protocol - CR-LDP*, definido na RFC 3212 (JAMOUSSE; CALLON, *et al.*, 2002). Esse último foi definido como obsoleto na RFC 3468 (ANDERSSON; SWALLOW, 2003).

A operação básica do RSVP-TE para o estabelecimento de um LSP em uma rede DS-TE é feita através da troca de mensagens dos tipos PATH e RESV. Após a escolha do caminho pelo algoritmo de seleção de caminhos baseado em restrições, o plano de controle envia uma solicitação de estabelecimento para o roteador de borda MPLS (LER) de origem e este propaga mensagens do tipo PATH para o próximo roteador do caminho selecionado, que por sua vez encaminha outra mensagem PATH para o próximo, até chegar ao roteador de borda MPLS (LER) de destino. O roteador de destino confirma a reserva de recursos através de mensagens RESV, que são propagadas até o roteador de origem (REALE; MARTINS, *et al.*, 2015).

### 3.1.3 Aplicabilidade das redes IP/MPLS/DS-TE

O uso do MPLS em *backbones*<sup>16</sup> de ISPs é destacado em diversos trabalhos (KAUR; KUMAR, 2010), (DOVERSPIKE; RAMAKRISHNAN; CHASE, 2010), (MENDONÇA; ALMEIDA, 2013).

Como dito anteriormente, o IP/MPLS/DS-TE é uma alternativa que visa prover uma infraestrutura de rede multisserviço capaz de suportar aplicações variadas com requisitos distintos de QoS (NETO, 2008). Isso se realiza por intermédio de estabelecimento e manutenção de LSPs através de um *backbone* IP que conecta os roteadores MPLS de borda (LER) de origem e de destino.

Segundo Mendonça e Almeida (2013), em *backbones* modernos, o uso da tecnologia MPLS traz grandes benefícios, evitando a complexidade de *backbones* antigos, baseados em tecnologias do *layer 2* (ATM - *Asynchronous Transfer Mode*, *frame relay*, TDM - *Time Division Multiplexing*), os quais provocam problemas de escalabilidade, desempenho e administração.

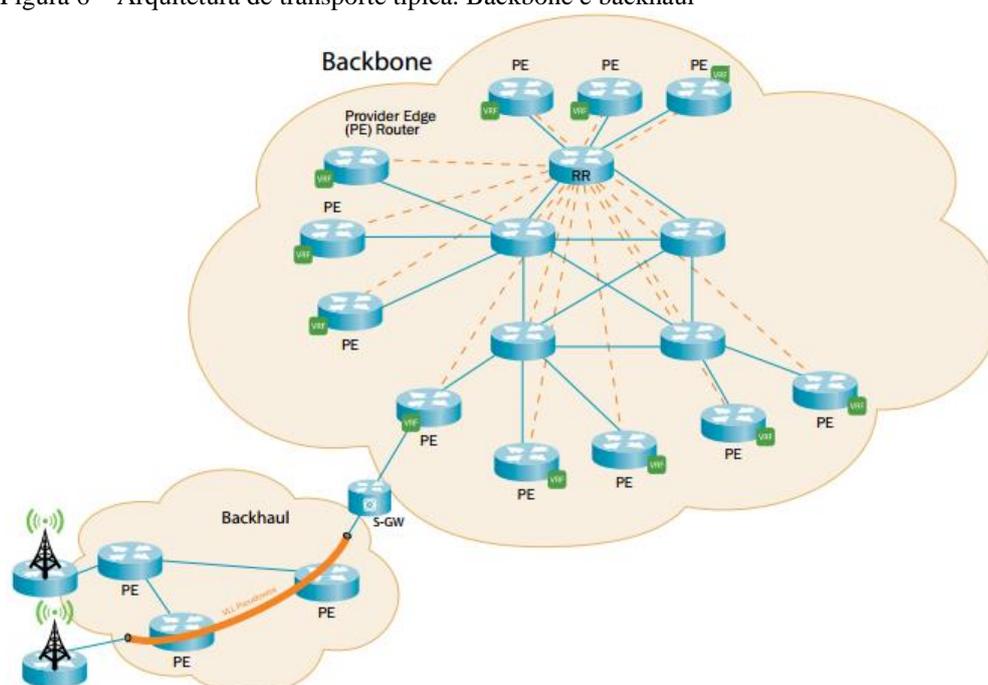
Segundo Packet Design (2015), os ISPs de redes fixas (operadoras de banda larga) têm adotado arquiteturas de rede IP/MPLS com o intuito de utilizar eficientemente a largura de banda e de ter uma maior resiliência, características dessa arquitetura. Operadoras de celular, com a finalidade de lidar com o aumento do tráfego de dados em redes móveis, também utilizam a arquitetura IP/MPLS tanto para o *backbone* quanto para o *backhaul*<sup>17</sup> de suas redes de transporte. A Figura ilustra de forma simplificada uma arquitetura de rede de um ISP de rede móvel que inclui um *backbone* e um *backhaul*.

---

<sup>16</sup> *Backbone* significa “espinha dorsal”, e é o termo utilizado para identificar a rede principal por onde trafegam os dados na Internet (MENEZES, 2016).

<sup>17</sup> *Backhaul* é a infraestrutura de rede de suporte do STFC (Serviço telefônico Fixo Comutado) para conexão em banda larga, interligando as redes de acesso ao *backbone* da operadora (<http://www.anatel.gov.br/legislacao>, acesso em 09/04/2017). Um ISP de rede móvel típico tem um *backbone* nacional e, para cada uma de suas regiões atendidas, um *backhaul* (PACKET DESIGN, 2015).

Figura 6 – Arquitetura de transporte típica. Backbone e backhaul



Fonte: adaptado de Packet Design (2015).

### 3.2 MODELOS DE ALOCAÇÃO DE BANDA

Em resumo, um modelo de alocação de banda (BAM) arbitra a alocação de largura de banda (recurso) para os usuários de uma rede MPLS DS-TE (REALE; MARTINS, *et al.*, 2015). Por usuário, entende-se qualquer aplicação, serviço ou usuário final capaz de solicitar um LSP para o tráfego de seus dados. O BAM define se um LSP será aceito, bloqueado ou sofrerá preempção em um determinado enlace, com o objetivo de maximizar a utilização da largura de banda em redes DS-TE.

Os primeiros modelos de alocação de banda propostos foram o *Maximum Allocation Model* (MAM) (LE FAUCHEUR; LAI, 2005) e o *Russian Dolls Model* (RDM) (LE FAUCHEUR, 2005). Enquanto o MAM não permite o compartilhamento da banda não utilizada entre classes de tráfego, o RDM compartilha a banda não utilizada e originalmente reservada para CT de hierarquia superior por CTs hierarquicamente inferiores.

Em Reale, Neto e Martins (2011) é proposto o modelo de alocação de banda denominado “AllocTC-Sharing” como uma nova estratégia de gerenciamento da largura de banda para as redes multisserviço. Este novo modelo agrega uma característica oportunista para a alocação de banda que permite empréstimos mútuos entre Aplicações/CTs de baixa e

alta prioridade e só interfere na topologia de LSPs existentes na rede em situações de conflitos resultantes da ausência de recursos.

Cada modelo de alocação de banda trabalha tipicamente com um número entre 3 e 7 CTs. Existe uma prioridade definida para cada CT e, de forma complementar, é configurada a restrição de largura de banda (BC), que pode ser vista sob duas perspectivas: (1) como a largura de banda máxima que pode ser reservada de forma privada para o estabelecimento de LSPs associados a uma determinada CT; e (2) como a largura de banda mínima disponível para todos os LSPs estabelecidos associados a uma determinada CT.

O que diferencia um modelo do outro é a forma como a largura de banda disponível pode ser compartilhada entre as diferentes Classes de Tráfego. O modelo MAM assume que não existe compartilhamento, ou seja, as BCs efetivamente representam tanto a largura de banda máxima quanto a mínima disponível para cada CT. 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 o recurso banda é alocado/compartilhado e o modelo G-BAM (*Generalized BAM*), generaliza todos os possíveis comportamentos existentes num único modelo por intermédio de uma configuração de parâmetros. Ou seja, o G-BAM é capaz de reproduzir o comportamento de qualquer BAM, de forma que seja utilizado na gestão da alocação de banda na rede (REALE; BEZERRA; MARTINS, 2014).

Resumindo, a alocação de um recurso de rede (largura de banda neste caso) pode ocorrer de três maneiras distintas (REALE; BEZERRA; MARTINS, 2014).

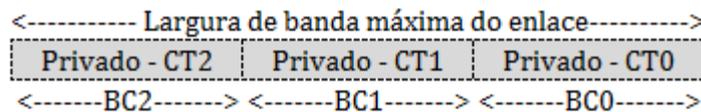
- a) Recurso privado (*Private*). Nessa forma de alocação o recurso é exclusivo da CT;
- b) Compartilhamento de “alta para baixa” (HTL). A banda alocada para CTs de maior prioridade e não utilizada pode ser compartilhada, de forma temporária, com CTs de menor prioridade; e
- c) Compartilhamento de “baixa para alta” (LTH). A banda alocada para CTs de menor prioridade, e não utilizada, pode ser compartilhada, de forma temporária em forma de empréstimo, com CTs de maior prioridade.

As próximas três subseções apresentam, de forma resumida, os modelos MAM e RDM e de forma mais detalhada o modelo AllocTC-Sharing.

### 3.2.1 Maximum Allocation Model (MAM)

O MAM (LE FAUCHEUR ; LAI, 2005) pode ser considerado a versão mais conservadora entre os modelos de alocação de banda existentes. Utilizando apenas a estratégia de recursos privados, o MAM efetivamente isola as Classes de Tráfego de forma que não exista nenhum compartilhamento de banda entre aplicações pertencentes a CTs diferentes. A Figura ilustra a divisão da largura de banda do enlace entre 3 CTs. Considerando o isolamento entre as diferentes CTs aplicado pelo MAM, não existe necessidade de mecanismos de preempção.

Figura 7 – Modelo de Alocação de Banda MAM



Fonte: Adaptado de Le Faucheur e Lai (2005).

O MAM tem como objetivo principal a reserva de um valor mínimo de largura de banda para cada Classe de Tráfego (CT) através do mapeamento de uma restrição de banda (BC) para as classes de tráfego (CTs). Esse modelo é adequado para ambientes DS-TE em que se quer garantir apenas proteção contra degradação de QoS para algumas CTs. A descrição formal do MAM é como segue (REALE; NETO; MARTINS, 2011):

- Para cada Classe de Tráfego “CT<sub>i</sub>” onde “M” é a largura de banda máxima reservável no enlace e “N<sub>i</sub>” é a banda alocada por CT tem-se:

$$N_i \leq BC_i \leq M$$

- Com as restrições, o total de largura de banda alocada pelas CTs não pode exceder a capacidade do enlace. C é o número de Classes de Tráfego. Tem-se:

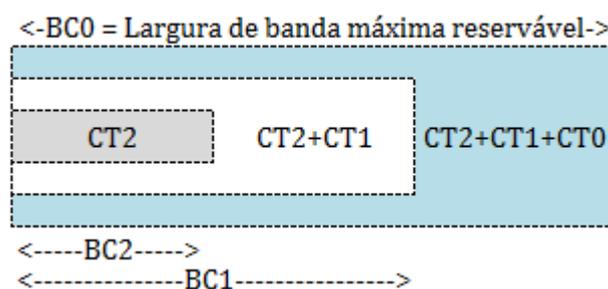
$$\left( \sum_{i=0}^{C-1} N_i \leq M \right)$$

### 3.2.2 Russian Dolls Model (RDM)

Diferentemente do MAM, o RDM (LE FAUCHEUR, 2005) permite o compartilhamento da banda não utilizada pelas CTs de alta prioridade para CTs de baixa prioridade (Figura ), lançando mão da estratégia de compartilhamento HTL (“alta para baixa”). O raciocínio geral envolvido na operação do modelo RDM é derivado do modelo

básico de prioridades utilizado por aplicações em rede. No caso, a banda livre das aplicações mais prioritárias pode ser temporariamente utilizada por aplicações menos prioritárias. Neste caso, quando há empréstimos em vigor, sempre que existir uma necessidade de banda por parte das aplicações prioritárias, aplica-se a “preempção” de aplicações menos prioritárias, implicando no encerramento do LSP de menor prioridade e o estabelecimento do LSP de maior prioridade, até o limite do empréstimo.

Figura 8 – Modelo de Alocação de Banda RDM



Fonte: Adaptado de Le Faucheur (2005).

O RDM e seu mecanismo de preempções podem ser usados para, simultaneamente, (1) isolar as CTs, de forma que para cada CT seja garantida sua cota de largura de banda; (2) obter eficiência na utilização da largura de banda do enlace; e (3) proteger as CTs da degradação de qualidade.

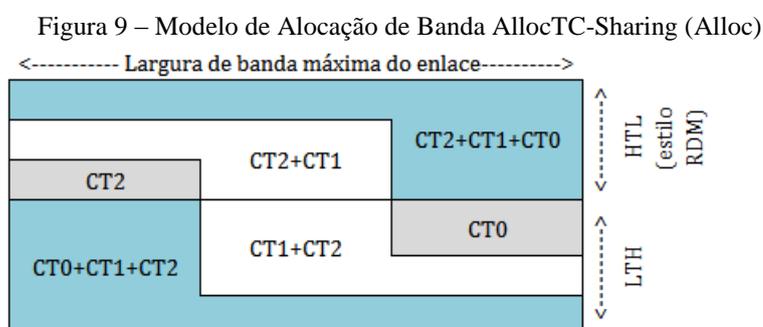
O modelo de compartilhamento de banda RDM é mais eficiente quanto à utilização da largura de banda total do enlace se comparado com o modelo MAM, conforme foi demonstrado em (REALE; MARTINS, *et al.*, 2015). Contudo, o RDM não leva em consideração a disponibilidade de banda em classes menos prioritárias, como faz o modelo AllocTC-Sharing.

O modelo apresentado a seguir alcança uma melhor utilização dos enlaces e, em comparação ao modelo RDM, reduz o impacto da estratégia de preempções adotada.

### 3.2.3 AllocTC-Sharing (Alloc)

O AllocTC-Sharing foi proposto em (REALE; NETO; MARTINS, 2011). Segundo os autores, o AllocTC-Sharing é um novo modelo de alocação de banda entre classes de tráfego prioritárias e não-prioritárias (Figura ). Em resumo, sua operação consiste em permitir que classes de tráfego de maior prioridade possam também utilizar a banda disponível e não

alocada para as classes de tráfego de menor prioridade, lançando mão da estratégia de compartilhamento “baixa para alta” (LTH), em complemento à estratégia de compartilhamento HTL (“alta para baixa”) do RDM.



Fonte: Adaptado de Reale, Martins, *et al.* (2015).

O modelo AllocTC-Sharing tem como objetivo permitir uma maior utilização dos enlaces de rede e um melhor compartilhamento entre as restrições de banda definidas (BCs), considerando que as classes de tráfego menos prioritárias podem utilizar a banda não utilizada de CTs hierarquicamente superiores e vice-versa, o que implica numa eventual melhoria da qualidade do atendimento do tráfego em determinados cenários de distribuição de tráfego.

Entretanto, para que seja garantido o cumprimento das prioridades, é necessário que o tráfego utilizado de forma oportunista por uma classe de tráfego, que já havia extrapolado sua restrição de banda, seja devolvido. Para um melhor entendimento dessa dinâmica, segue definição de conceitos:

- Alocação no estilo RDM: estratégia de compartilhamento HTL (“alta para baixa”).  
Uso por CTs menos prioritárias da largura de banda originalmente reservada (e não utilizada) para CTs de maior prioridade.
- Empréstimo (*loan*): estratégia de compartilhamento “baixa para alta” (LTH). Uso por CTs mais prioritárias da largura de banda originalmente reservada (e não utilizada) para CTs de menor prioridade.
- Preempção de LSP estabelecido: preempção convencional (estilo RDM) de tráfego de baixa prioridade pelo tráfego de alta prioridade, quando existe necessidade de largura de banda pelo tráfego prioritário.
- Devolução de LSP estabelecido: preempção de tráfego de alta prioridade (estabelecido por empréstimo) pelo tráfego de baixa prioridade, quando existe necessidade de largura de banda pelo tráfego de baixa prioridade.

- e) Bloqueio de LSP: quando inexistir largura de banda disponível no momento da requisição do LSP e inexistir possibilidade de preempção/devolução de LSPs estabelecidos.

O modelo AllocTC-Sharing mantém o conceito de restrição de banda já adotado nos modelos anteriores (MAM e RDM). O algoritmo é aplicado na condição de conflito em que não há largura de banda disponível no enlace. A operação geral do modelo pode ser descrita da seguinte maneira:

- a) Uma nova requisição de LSPs resulta em estabelecimento de LSP (*LSP setup*) se houver banda disponível no enlace, seja dentro da BC estipulada para a CT ou além do valor (neste caso, com alocação/empréstimo).
- b) 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 estabelecido) ou devolver banda emprestada previamente a CTs de menor prioridade (preempção de LSP estabelecido) até o valor extrapolado (acima da BC), nesta sequência.
- c) Caso não exista banda suficiente a ser devolvida que possibilite o estabelecimento do LSP requisitado, a requisição de LSP é bloqueada.

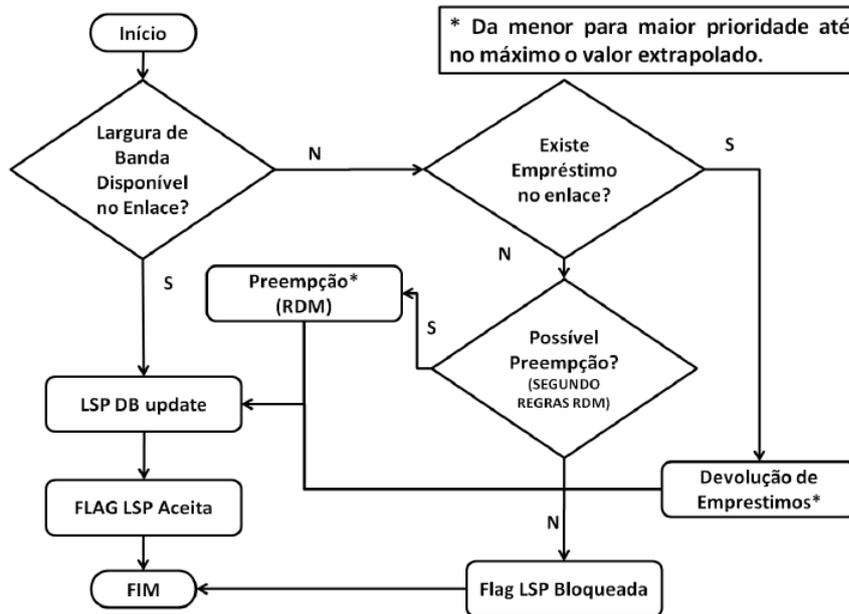
Em resumo, as classes podem, de forma oportunista, utilizar a banda disponível para as classes de prioridade inferior ou superior. A Figura ilustra de forma simplificada o modelo de operação do AllocTC-Sharing.

Dessa forma, considerando a preempção de LSP estabelecido, uma CT<sub>b</sub> pode ter um LSP<sub>y</sub> estabelecido e provocar o encerramento de um LSP<sub>x</sub> de uma CT<sub>a</sub>, se as seguintes condições forem alcançadas: (1) CT<sub>b</sub> tem prioridade maior que CT<sub>a</sub>; (2) CT<sub>b</sub> disputa a largura de banda utilizada por CT<sub>a</sub>; (3) a largura de banda disputada somada à largura de banda disponível no caminho não é suficiente para atender a CT<sub>b</sub> e a CT<sub>a</sub>; e (4) CT<sub>a</sub> é preemptável.

De forma análoga, considerando a devolução de LSP estabelecido, uma CT<sub>b</sub> pode ter um LSP<sub>y</sub> estabelecido e provocar o encerramento de um LSP<sub>x</sub> de uma CT<sub>a</sub>, se as seguintes condições forem alcançadas: (1) CT<sub>b</sub> tem prioridade menor que CT<sub>a</sub>; (2) CT<sub>b</sub> disputa a largura de banda utilizada por CT<sub>a</sub>; (3) a largura de banda disputada somada à largura de banda disponível no caminho não é suficiente para atender a CT<sub>b</sub> e a CT<sub>a</sub>; e (4) CT<sub>a</sub> pode sofrer “devolução”.

Uma determinada CT só é preemptável ou pode sofrer “devolução” se o volume de largura de banda atualmente estabelecido para esta CT exceder a sua respectiva BC.

Figura 10 – Modelo de operação do AllocTC-Sharing



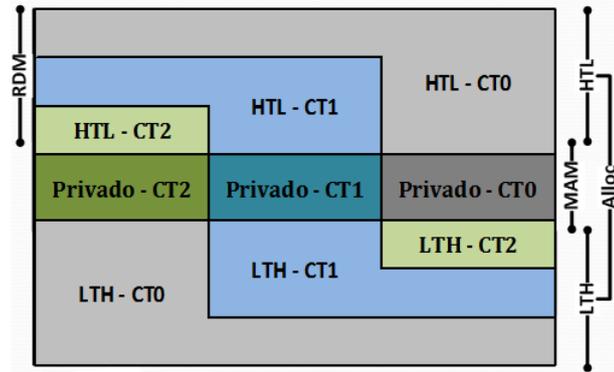
Fonte: Reale, Neto e Martins, (2011).

Segundo Reale, Neto e Martins (2011) considerando o universo das aplicações, este modelo tende a favorecer aplicações emergentes de áudio e vídeo com características adaptáveis em relação à taxa de transmissão, pois pode ser contratado um serviço com a qualidade aceitável para a aplicação e em diversos momentos esta qualidade poderá ser superior à contratada.

### 3.3 GENERALIZED BANDWIDTH ALLOCATION MODEL (G-BAM)

O Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM) integra de forma configurável diversas estratégias de alocação de recursos (largura de banda, neste caso), como: recursos privados (característico do MAM); compartilhamento de “alta para baixa” - HTL (característico do RDM e do Alloc); e compartilhamento de “baixa para alta” - LTH (característico do Alloc), conforme ilustrado na Figura .

Figura 11 – Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM)



Fonte: Adaptado de Reale, Martins, *et al.* (2015).

Dessa forma, o Modelo de Alocação de Banda Generalizado (G-BAM) é capaz de reproduzir o comportamento de qualquer BAM, de forma que seja utilizado no gerenciamento da alocação de banda na rede (REALE; NETO; MARTINS, 2014).

No G-BAM, para cada Classe de Tráfego, pode ser configurado: (i) a quantidade de recursos privados (BCs); (ii) o limite de empréstimo HTL; e (iii) o limite de empréstimo LTH. A operação global resulta em um modelo de alocação de largura de banda que inclui os principais modelos (MAM, RDM e AllocTC-Sharing). Em Reale, Neto e Martins (2014) é oferecida a descrição formal do G-BAM e é mostrado como o mesmo reproduz os "comportamentos" de MAM, RDM e AllocTC-Sharing.

A descrição formal do G-BAM é como segue:

1.  $BC_i$  é a restrição de banda (*Bandwidth Constraint*) para a Classe de Tráfego "i" ( $CT_i$ ).  $C$  é o número de Classes de Tráfego. A soma total dos BCs configurados não deve exceder a largura de banda máxima do enlace ( $M$ ):

$$\sum_{i=0}^{C-1} BC_i \leq M$$

2. Para cada  $CT_i$ , a largura de banda máxima permitida para empréstimo "High to Low" ( $HTL_i$ ) e "Low to High" ( $LTH_i$ ) é definida. Os valores  $HTL_i$  e  $LTH_i$  não devem exceder a  $BC_i$  configurada:

$$HTL_i \leq BC_i \text{ and } LTH_i \leq BC_i$$

3. A largura de banda privada (*PRIVATE*) de cada  $CT_i$  pode ser obtida da seguinte maneira:

$$PRIVATE_i = (BC_i - \max(HTL_i, LTH_i))$$

4.  $N_i$  é o total de largura de banda alocada para LSPs pertencentes à Classe de Tráfego "i".  $N_i$  máximo é obtido da seguinte maneira:

$$\text{Max}(N_i) \leq BC_i + \sum_{j=i+1}^{C-1} HTL_j + \sum_{k=0}^{i-1} LTH_k$$

5. A largura de banda máxima disponível para empréstimo ( $HTL_{DISP_i}$ ,  $LTH_{DISP_i}$ ) em uma  $CT_i$  é definida da seguinte maneira:

$$HTLDISP_i = \min\{HTL_i, [BC_i - \max(PRIVATE_i, N_i)]\}$$

$$LTHDISP_i = \min\{LTH_i, [BC_i - \max(PRIVATE_i, N_i)]\}$$

6.  $N_i$ , em tempo de execução, está restrito pelos empréstimo disponíveis (*low and high*) da seguinte maneira:

$$N_i \leq BC_i + \sum_{j=i+1}^{C-1} HTL_{DISP_j} + \sum_{k=0}^{i-1} LTH_{DISP_k}$$

#### 4 ATENDIMENTO À NEUTRALIDADE DE REDE – PROPOSTA E AVALIAÇÃO

Neste capítulo é proposta a utilização do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing como prática de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) e é avaliado o atendimento às regras de neutralidade de rede estabelecidas, incluindo o atendimento aos requisitos para qualificação como prática de ITM razoável, uma exceção à regra de não discriminação.

A seção 4.1 explica como o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing pode ser utilizado em conformidade com a neutralidade de rede.

Conforme delineado na seção 0, 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 da Internet (ITM) razoável, de acordo com os seguintes perfis de operação:

- a) Tratamento igualitário do tráfego, como regra.
- b) Aplicação de diferenciação de serviço de forma razoável, i.e., isonômica, proporcional e excepcional.

A seção 4.2 apresenta uma proposta de mapeamento não discriminatório de aplicações e serviços em Classes de Tráfego, que é utilizado nos dois cenários de simulação. Esta proposta se destina a atender ao requisito de isonomia, necessário para qualificação como prática de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável.

A seção 4.3, por sua vez, apresenta os objetivos e as configurações dos experimentos realizados.

A seção 4.4 avalia, a partir de resultados de desempenho e de comportamento da operação do AllocTC-Sharing, o atendimento ao requisito de proporcionalidade, necessário para qualificação como prática de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável.

A seção 4.5 avalia, a partir da análise de comportamento da operação do AllocTC-Sharing, se a diferenciação de serviço aplicada é exceção ou regra, ou seja, é avaliado o atendimento ao requisito de excepcionalidade, necessário para qualificação como prática de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável.

Finalmente, a seção 4.6 apresenta a avaliação geral de conformidade da prática proposta com a neutralidade de rede.

#### 4.1 UTILIZAÇÃO DO G-BAM COM COMPORTAMENTO ALLOCTC-SHARING COM A FINALIDADE DE ALCANÇAR UMA OPERAÇÃO EM CONFORMIDADE COM A NEUTRALIDADE DE REDE

A utilização do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing tem o propósito de contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, sob a forma do atendimento adequado aos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações e otimização do uso da capacidade da rede, em conformidade com os limites definidos nas regras de neutralidade de rede estabelecidas. Neste sentido, os seguintes passos são necessários para se alcançar esta conformidade:

- a) Definição das Classes de Tráfego. Inicialmente, é necessário mapear as aplicações e serviços em um conjunto de Classes de Tráfego (de forma não discriminatória e baseada em considerações técnicas), de modo a garantir o adequado atendimento dos diferentes requisitos de qualidade das aplicações.
- b) Definição das restrições de banda (BCs). Para cada CT, é alocado um “pedaço” da largura de banda do enlace. Esta alocação reflete uma decisão gerencial de quanto da largura de banda do enlace é adequada para atender ao tráfego de cada CT na rede.
- c) Definição dos percentuais de compartilhamento HTL e LTH. Um percentual menor que 100% para determinada CT pode indicar uma eventual necessidade de se isolar o tráfego dessa CT das demais, fato que deve ser plenamente justificado.
- d) Finalmente, o G-BAM, por intermédio das estratégias de compartilhamento de banda características do comportamento reproduzido, decide se concede (ou não) largura de banda (*LSP setup*) para as Classes de Tráfego, promovendo compartilhamento (parcial ou total) da banda do enlace.

O comportamento AllocTC-Sharing, reproduzido pelo G-BAM, vai operar em conformidade com a neutralidade de rede de quatro formas distintas:

- a) Em primeiro lugar, o AllocTC-Sharing vai respeitar o mapeamento de tráfego definido e permitir o compartilhamento de recursos (largura de banda) entre Classes de Tráfego sempre que o enlace não estiver congestionado, sem aplicar prioridades na alocação dos recursos.
- b) As estratégias de compartilhamento de banda HTL e LTH vão operar de forma a otimizar o uso da largura de banda dos enlaces e, conseqüentemente, da rede.
- c) A intervenção no tráfego decorrente da aplicação de prioridades no estabelecimento ou manutenção de LSPs (ocorrência de preempções, devoluções e bloqueios de LSPs) será proporcional, ou seja, não será maior do que a necessária para se atingir o

propósito de atendimento adequado aos diferentes requisitos das aplicações, bem como o de otimização do desempenho global da rede.

- d) Por último, mas não menos importante, as preempções e devoluções de LSPs estabelecidos e os bloqueios de requisições de LSPs (eventos relacionados às priorizações características da diferenciação de serviço aplicada) devem ocorrer apenas em momentos de escassez de largura de banda (congestionamento iminente<sup>18</sup> ou de fato).

Em resumo, o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing vai aplicar tratamento diferenciado ao tráfego em duas ocasiões:

- a) Quando não houver largura de banda suficiente no enlace para atender a nova requisição de LSP e não houver saldos positivos de banda emprestada, ocorre bloqueio de estabelecimento de LSP. Neste caso, o algoritmo leva em consideração as restrições de banda estabelecida (BCs). Caso uma CT<sub>x</sub> tenha um percentual de BC maior que um CT<sub>y</sub>, é mais provável que o tráfego da CT<sub>x</sub> seja atendido que o tráfego da CT<sub>y</sub>, visto que, durante congestionamento, os BCs correspondem a uma alocação privativa de recursos.
- b) Quando não houver largura de banda suficiente no enlace para atender a nova requisição e houver saldos positivos de banda emprestada (HTL ou LTH), ocorre preempção ou devolução de LSPs estabelecidos (remoções de LSPs estabelecidos para que uma nova requisição de LSP possa ser atendida). Esta aplicação de prioridades está diretamente relacionada à definição da ordem de prioridades de estabelecimento ou manutenção de LSPs entre os subconjuntos de tráfego (CTs), conforme configurado na Tabela .

Em redes multisserviços existem muitas aplicações com requisitos de qualidade diferentes e padrões de distribuição de tráfego diversos. Neste cenário, o comportamento AllocTC-Sharing potencialmente favorece classes de aplicações de alta prioridade (elásticas, críticas ou adaptáveis), enquanto aumenta a utilização global de largura de banda (REALE; NETO; MARTINS, 2011). As aplicações elásticas e adaptativas são, por exemplo, áudio e vídeo streaming, que tem a capacidade de ajustar sua taxa e qualidade de transmissão a depender da disponibilidade de largura de banda, mantendo uma mínima funcionalidade.

---

<sup>18</sup> O congestionamento iminente da rede (*impending network congestion*) é definido em (BEREC, 2016) como situações em que o congestionamento está prestes a se materializar.

#### **4.1.1 Considerações sobre a transparência requisitada**

A transparência é exigida aos ISPs sob a forma de publicidade dos motivos e das características do gerenciamento que implicam no tratamento diferenciado dos pacotes de dados das aplicações, serviços e conteúdos acessados. A legislação brasileira (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016) exemplifica como isso pode ser realizado: indicação nos contratos de prestação de serviço firmado com usuários finais ou provedores de aplicação; e a divulgação de informações referentes às práticas de gerenciamento adotadas em seus sítios eletrônicos, por meio de linguagem de fácil compreensão. Tais informações devem conter, no mínimo: a descrição dessas práticas; os efeitos de sua adoção para a qualidade de experiência dos usuários; e os motivos e a necessidade da adoção dessas práticas.

Entende-se que a transparência é uma obrigação dos ISPs e que seu objeto transcende questões puramente técnicas, como configuração e parâmetros utilizados. Ademais, deve-se avaliar a necessidade e segurança da publicidade de todos os aspectos do mecanismo de gerenciamento adotado.

Ainda assim é possível apontar parâmetros técnicos utilizados no mecanismo avaliado neste trabalho que podem ser tornados públicos, permitindo uma adequada descrição e melhor compreensão da prática adotada. São eles: restrições de largura de banda por Classe de Tráfego, exemplificado na

Tabela ; percentuais de compartilhamento de largura de banda LTH e HTL, exemplificados na subseção 4.3.1; e o mapeamento de aplicações em Classes de Tráfego, exemplificado na Tabela .

#### **4.1.2 Considerações sobre o propósito legítimo defendido pela neutralidade de rede**

Conforme explicado, a utilização do G-BAM tem o propósito de contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, sob a forma do atendimento adequado aos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações e otimização do uso da capacidade da rede. Estes propósitos estão bem alinhados com as legislações vigentes no Brasil, na Europa e nos Estados Unidos da América:

- a) Segundo a FCC (FCC, 2015), uma prática de “gerenciamento de rede razoável” permite que ISPs enderecem livremente necessidades legítimas, como evitar congestionamento e combater o tráfego de conteúdo malicioso e ilegal.

- b) Para (BEREC, 2016), deve haver um objetivo legítimo para uma medida de gerenciamento de tráfego, que deve contribuir para um eficiente uso dos recursos de rede e para a otimização da qualidade global de transmissão.
- c) A legislação brasileira (BRASIL. DECRETO Nº 8.771, 2016), por sua vez, admite o gerenciamento de redes com o objetivo de preservar sua estabilidade, segurança e funcionalidade, utilizando-se apenas de medidas técnicas compatíveis com os padrões internacionais, desenvolvidos para o bom funcionamento da Internet.

Assim, as simulações apresentadas na seção 4.3 verificam a otimização no uso da largura de banda alcançada e analisam a diferenciação de serviço aplicada, sendo possível determinar se a operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing atinge seu propósito.

#### 4.2 PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE APLICAÇÕES EM CLASSES DE TRÁFEGO

O mapeamento do tráfego (aplicações, serviços e conteúdo) em Classes de Tráfego é o primeiro passo em direção a uma operação de rede alinhada à neutralidade de rede. A definição da quantidade de CTs e qual tipo de tráfego cada uma delas comporta é essencial na avaliação do caráter isonômico (não discriminatório) da operação da prática de diferenciação de serviço.

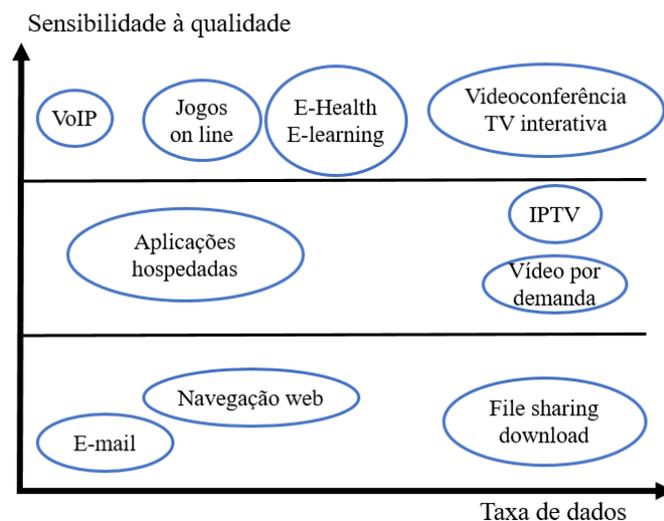
Do ponto de vista técnico, o mapeamento de aplicações e serviços visa proporcionar experiências satisfatórias ao usuário final sob o ponto de vista de QoS e de QoE. Representa uma visão puramente técnica de como as aplicações devem usar os recursos de rede. Como exemplo, certas classes de aplicações 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.

O tráfego de pacotes de dados de uma determinada aplicação tem suas características individuais que os diferem dos outros, principalmente em relação à taxa de dados e sensibilidade à qualidade (KRUSE, 2008). Quando enviados pela Internet, os pacotes de dados compartilham e disputam os recursos de rede (largura de banda, *buffer*, etc.) com outras aplicações. A disputa do recurso, geralmente escasso, desempenha um papel importante na qualidade experimentada pelos usuários.

Quanto menor a sensibilidade à qualidade de uma determinada aplicação, maior a sua capacidade de enfrentar situações de congestionamento na rede sem ter seu serviço degradado do ponto de vista dos usuários. As reduções na qualidade devido ao congestionamento diferem de acordo com o serviço envolvido.

Alguns serviços têm sua qualidade afetada apenas por falhas demoradas na rede ou congestionamento prolongado. É por exemplo o caso de serviços em que os pacotes de dados não entregues serão reenviados pela fonte, como *e-mail*, navegação na Web, *downloads* e compartilhamento de arquivos. Outros tipos de serviços, como por exemplo, Voz sobre IP, jogos online e IPTV - *Internet Protocol Television* são afetados de forma mais severa por períodos, mesmo curtos, de congestionamento. A Figura ilustra uma classificação de aplicações e serviços em relação à sua taxa de dados e sensibilidade à qualidade.

Figura 12 – Sensibilidade à qualidade e taxa de dados de algumas aplicações e serviços



Fonte: Adaptado de Kruse (2008).

Mesmo com diferentes requisitos técnicos, é possível agrupar os diferentes serviços e aplicações de acordo com algumas características, como sensibilidade ao atraso, níveis de confiabilidade e demanda por largura de banda.

Tráfego sensível ao tempo, como o de aplicações de tempo real, precisa de respostas interativas, entrega confiável e com baixo *jitter* (variação estatística do atraso), para garantir que seus pacotes de dados sejam "reproduzidos" no instante adequado. Videoconferência, por exemplo, está nessa categoria. Por sua vez, *streaming* de áudio e vídeo não tem a mesma sensibilidade ao atraso e ao *jitter* como o tráfego em tempo real, mas requer entrega de

pacotes confiável e, muitas vezes, requer uma quantidade substancial de largura de banda disponível.

As aplicações de dados em massa, como transferências de arquivos ou backup, tem um grau de dependência ao tempo muito menor, mas usam uma grande quantidade de largura de banda. Por sua vez, o desempenho de aplicativos transacionais, como serviços baseados na Web, é frequentemente determinado pela capacidade de completar transações, ao invés do tempo necessário para a transferência de dados (SEVCIK; BARTLETT; WETZEL, 2004).

Um ISP pode utilizar diferentes técnicas para identificar à qual aplicação ou serviço um pacote de dados está associado. Esta identificação pode se basear nos cabeçalhos das camadas 2 ou 3 ou em alguma heurística, como tamanho ou sequência dos pacotes. Segundo (BEREC, 2016), mecanismos que identificam (monitoram) o conteúdo específico, como o *payload* do protocolo de camada de transporte, não devem ser permitidos. Um desses mecanismos é conhecido como inspeção de conteúdo dos pacotes (DPI).

Por outro lado, mecanismos que identificam aspectos genéricos do conteúdo dos pacotes devem ser permitidos. Técnicas utilizadas por ISPs que se baseiam nas informações contidas nos cabeçalhos dos pacotes IP e dos protocolos da camada de transporte (TCP ou UDP - *User Datagram Protocol*, por exemplo) podem ser consideradas como monitoramento de conteúdo genérico e não específico. Não está no escopo deste trabalho apontar a forma de identificação do tráfego mais adequada. O importante para cumprir o objetivo dessa pesquisa é apontar um mapeamento de aplicações e serviços alinhado à neutralidade de rede.

Embora a literatura reconheça que o uso de medidas de gerenciamento de tráfego envolvendo diferenciação de serviço podem estar alinhadas à neutralidade de rede, não foi encontrado na literatura consultada um mapeamento de aplicações e serviços sugerido ou imposto especificamente para o contexto da neutralidade de rede. Este trabalho apresenta uma proposta de mapeamento não discriminatório (com a finalidade principal de utilização em simulação) baseada no seguinte conjunto de condutas: (i) situações similares, em termos de requisitos de QoS, recebem tratamento similar; e (ii) situações diferentes, também em termos de requisitos de QoS, recebem tratamento diferentes, exclusivamente em razão da necessidade de se atender adequadamente a seus requisitos técnicos, conforme proposto em (BEREC, 2016). Dessa forma, será menos provável que aplicações do mesmo tipo (potencialmente concorrentes) recebam tratamento diferenciado pela rede.

Assim, são dois os aspectos principais a se considerar em um mapeamento 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 devem ser agrupadas

em uma mesma CT, com o objetivo de se garantir uma operação não discriminatória e isonômica.

A Tabela apresenta uma proposta de mapeamento de aplicações em classes de tráfego (CTs) baseada na associação de classes de QoS (QoS *classes*) previstas na Recomendação ITU-T Y.1541 (ITU-T, 2011) com as capacidades de transferência (*transfer capabilities*) previstas na Recomendação ITU-T Y.1221 (ITU-T, 2010). Por definição, CT2 tem maior prioridade que CT1 e CT0 e esta última tem a menor prioridade entre as CTs.

Tabela 2 – Proposta de mapeamento de aplicações em Classes de Tráfego

Tipo de Aplicação	Exemplos	Classe de Tráfego	Tipo de Tráfego
Aplicações Web, navegação Web, e-mail, transferência de arquivos, outras de característica semelhante.	Enviar e receber e-mails, postar em redes sociais como Facebook e Twitter, navegar em páginas da Internet, baixar arquivos do Dropbox ou de um servidor FTP, compartilhar arquivos em sistemas P2P como BitTorrent, etc	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.	VoiIP pelo WhatsApp ou vídeo chamada pelo Skype, jogos <i>on line</i> de multijogador, ouvir música no Spotify ou SoundCloud, assistir a vídeos no Youtube ou Netflix, transmissão de vídeo em tempo real no Periscope, etc.	CT1	Tempo real ou de uso intensivo de largura de banda
Backup, imagens médicas, realidade virtual, outras de característica semelhante.	Comunicações de emergência, telemedicina e outros serviços classificados como prioritários.	CT2	Crítico ou de emergência

Fonte: autoria própria.

O mapeamento proposto utiliza apenas três Classes de Tráfego por dois motivos: (i) este quantitativo é minimamente suficiente para as demonstrações que se seguem; e, conseqüentemente, (ii) indica uma operação exclusivamente desenhada para alcançar os propósitos da diferenciação de serviço. Opções com mais CTs continuariam dentro do escopo da neutralidade de rede, desde que esta maior segmentação fosse objetivamente justificada. Por exemplo, uma quarta CT comportando o tráfego exclusivo de serviços de emergência seria uma forma justificável de atendimento ao requisito legal definido em (BRASIL. LEI Nº 12.965, 2014). Cenários com o uso de mais CTs podem ser analisados em trabalhos futuros.

#### 4.3 SIMULAÇÕES - OBJETIVOS E CONFIGURAÇÕES

Esta seção apresenta os objetivos e as configurações dos experimentos utilizados para avaliar o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing em relação ao atendimento aos

requisitos necessários para qualificação como prática de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável.

As simulações são realizadas em dois cenários distintos:

1. O primeiro cenário utiliza geração aleatória de tráfego e tem a finalidade de demonstrar a proporcionalidade da diferenciação de serviço característica da operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing, por intermédio dos seguintes métodos:
  - Comparação entre os níveis de desempenho da operação do comportamento AllocTC-Sharing com os níveis de desempenho alcançados pelos comportamentos MAM e RDM. Quatro índices são utilizados como métricas de desempenho<sup>19</sup>: (1) largura de banda atendida, (2) LSPs bloqueados, (3) LSPs preemptados, e (4) LSPs atendidos.
  - Comparação entre os resultados do AllocTC-Sharing com os resultados de uma configuração sem o uso de Classes de Tráfego<sup>20</sup>, de forma a avaliar se a última alcança os mesmos resultados do primeiro, o que indicaria a desproporcionalidade<sup>21</sup> do uso de diferenciação de serviço. A configuração sem Classes de Tráfego, para fins de ilustração e de referência, será chamada de *First-Request First-Served* – FRFS, “primeiro a ser requisitado, primeiro a ser servido”.

Dessa forma, busca-se responder às seguintes perguntas:

- A operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing implica em otimização do uso da capacidade da rede?
- A operação gera resultados condizentes com o mapeamento não discriminatório proposto?
- A diferenciação de serviço aplicada é necessária e apropriada para alcançar o propósito do gerenciamento?
- Existe uma forma menos interferente de alcançar os mesmos resultados?

---

<sup>19</sup> Métricas de desempenho utilizadas em (REALE, NETO e MARTINS, 2011) para comparar os BAMs.

<sup>20</sup> Obviamente, uma configuração que não usa Classes de Tráfego ou que usa uma Classe de Tráfego única não aplica nenhum tratamento diferenciado no tráfego, ou seja, em momentos de congestionamento e de escassez de recursos, não ocorre priorização do tráfego de certos subconjuntos de aplicações, como aquelas consideradas críticas, de emergência e sensíveis a atraso em detrimento de outras aplicações, como as do tipo *Best-Effort*. Seu uso talvez só se justifique em ocasiões de subutilização da rede ou então caso seu desempenho para as aplicações mais críticas seja maior ou igual que o desempenho da configuração que utiliza diferenciação de serviço, fato que provaria que o uso de Classes de Tráfego é desnecessário, portanto desproporcional.

<sup>21</sup> Esta avaliação de proporcionalidade foi realizada conforme sugerido em (BEREC, 2016, p. 16-17).

2. O segundo cenário utiliza um perfil de geração de tráfego pré-estabelecido (não aleatório) e tem a finalidade de demonstrar a excepcionalidade da diferenciação de serviço característica da operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing.

Dessa forma, busca-se responder à seguinte pergunta:

- O gatilho para aplicação do tratamento diferenciado é a ocorrência de congestionamento, i. e., os eventos de bloqueios, devoluções e preempções de LSPs ocorrem apenas em momentos de escassez de recursos, de forma excepcional e temporária?

É utilizado o simulador especializado BAMSIm - *Bandwidth Allocation Model Simulator* (NETO ; MARTINS, 2008) com o G-BAM configurado<sup>22</sup> de forma a reproduzir o comportamento de outros modelos, como o MAM, o RDM e o AllocTC-Sharing. Informações adicionais referentes ao simulador estão apresentadas no Apêndice A.

Dentro de cada cenário, cada uma das configurações de comportamento do G-BAM é testada sob as mesmas condições de rede (mesmas restrições de banda, mesma topologia, mesmas taxas de chegadas de novos LSPs, mesmas sementes de criação de tráfego, etc.).

Cada cenário foi simulado com 5 sementes aleatórias, sem reutilização e os resultados apresentados representam a média dos valores obtidos em cada simulação. Os resultados completos estão disponíveis no Apêndice B, incluindo os intervalos de confiança (95%) e desvios padrões.

As prioridades de preempção e devolução são correspondentes à classificação de tráfego proposta na Tabela . Eventos de preempção e devolução (entre CTs) podem ou não ocorrer. Em outras palavras, uma CT preempta, ou pede devolução a outra CT, apenas quando necessário. Cada Classe de Tráfego oferece uma carga de LSPs, expressa numa taxa de chegada de requisições de LSPs associada a um tempo médio de vida de LSPs.

É utilizada a topologia de rede *National Science Foundation - NSF* (NSFNET), que contém 14 nós e 42 enlaces bidirecionais (Figura ). Este trabalho optou por utilizar a rede NSF por se mostrar adequada em tamanho e complexidade em relação às expectativas dessa

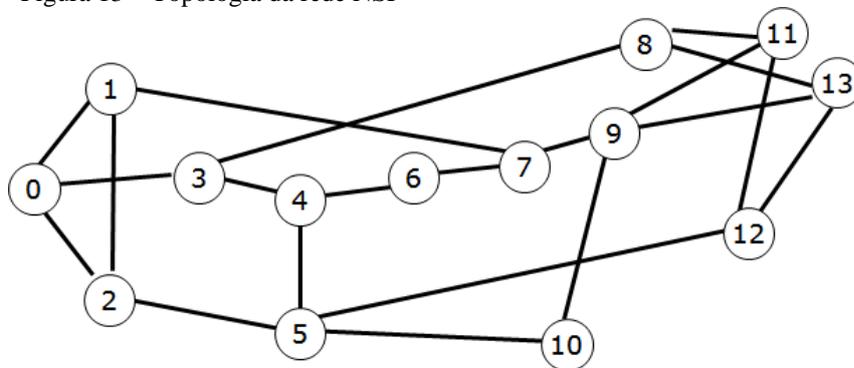
---

<sup>22</sup> Não está no escopo deste trabalho o uso de protocolos de estabelecimento de caminhos, como o RSVP-TE, visto que o estudo das implicações (níveis de otimização) que o mesmo traz para a rede não é um dos objetivos deste trabalho. Trabalhos futuros poderão lançar mão dessa opção e promover avaliações complementares. A simulação apresentada no Capítulo 4 emprega caminhos estáticos, pré-definidos, sem prejuízo às análises que são objeto deste trabalho.

pesquisa. Trabalhos anteriores, como Reale, Neto e Martins (2011) e Neto (2008), utilizaram topologias de 5 nós.

A definição da quantidade de CTs a ser utilizada levou em consideração a classificação de tráfego proposta na Tabela . Assim, três Classes de Tráfego (CT0, CT1 e CT2) são utilizadas nestas simulações. Na classificação de tráfego proposta, CT0 corresponde a LSPs com Tráfego *Best Effort*, CT1 corresponde a tráfego sensível à variação do atraso e de uso intensivo de largura de banda e, finalmente, CT2 corresponde a LSPs que carregam tráfego crítico ou de emergência.

Figura 13 – Topologia da rede NSF



#### 4.3.1 Primeira Simulação - Configuração

Nesta simulação de 24 horas de duração, o modelo G-BAM é configurado de forma a reproduzir o comportamento do MAM, do RDM e do AllocTC-Sharing. Este cenário utiliza geração aleatória de tráfego, mais próximo da operação de uma rede real.

Para esta demonstração, todos os nós da topologia utilizada (Figura ) são possíveis fontes de tráfego e possíveis destinos. Dessa forma, qualquer um dos 42 enlaces pode experimentar momentos de subutilização, alta ocupação ou congestionamento prolongado, com variações aleatórias de geração de tráfego (carga) entre as CTs.

Os parâmetros de configuração dessa simulação são os seguintes:

- a) Capacidade dos enlaces: 1.000 Mbps.
- b) Classes de Tráfego – CTs existentes: CT0, CT1 e CT2, conforme classificação proposta na Tabela .
- c) Limites de empréstimo HTL e LTH: 100%.
- d) Restrições de banda (BCs): BC0, BC1 e BC2, de acordo com a
- e) Tabela .

Tabela 3 – Restrições de banda por Classe de Tráfego

BCs	CTs	BC (%)	MAX BC – MAM (Mbps)	MAX BC – RDM (Mbps)	MAX BC – Alloc (Mbps)
BC0	CT0	25	250	1.000	
BC1	CT1	35	350	750	1.000
BC2	CT2	40	400	400	

Os parâmetros configurados para cada LSP são os seguintes:

- a) Tempo de vida dos LSPs: modelado exponencialmente com média de 300 segundos;
- b) Carga dos LSPs: distribuição aleatória entre 5 Mbps e 35 Mbps;
- c) Critério de parada: 24 horas (86.400s); e
- d) Intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média LSPs gerados a cada 2 segundos.

#### 4.3.2 Considerações sobre a configuração FRFS

A configuração FRFS disponibilizará a largura de banda dos enlaces para todos os tipos de tráfego, sem aplicação de prioridades. A única restrição é a disponibilidade de largura de banda no enlace no momento da requisição.

Assim, a configuração sem classes e tráfego irá conceder (ou não) largura de banda aos LSPs com base apenas na disponibilidade de banda no momento da chegada da requisição, sem levar em consideração os BCs, nem tampouco as necessidades de preempções ou devoluções. Consequentemente, a configuração de compartilhamento HTL ou LTH para o FRFS é inócua. Caso não exista largura de banda suficiente para atender a determinada requisição de LSP, ocorre bloqueio do LSP, independentemente do nível da CT à qual ela está associada. Caso exista largura de banda suficiente no enlace para atender à requisição, ela é simplesmente aceita.

A marcação do tráfego por CT continuará necessária com o objetivo estrito de comparar os resultados da FRFS com os gerados pelo G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing. Assim, os resultados mostrarão o tráfego marcado de acordo com a classificação proposta na Tabela .

Por fim, a FRFS tende a utilizar a capacidade da rede no nível mais próximo do seu máximo, pois não existem recursos privados, mesmo em períodos de congestionamento. Por outro lado, não promove proteção contra degradação de QoS para nenhuma CT.

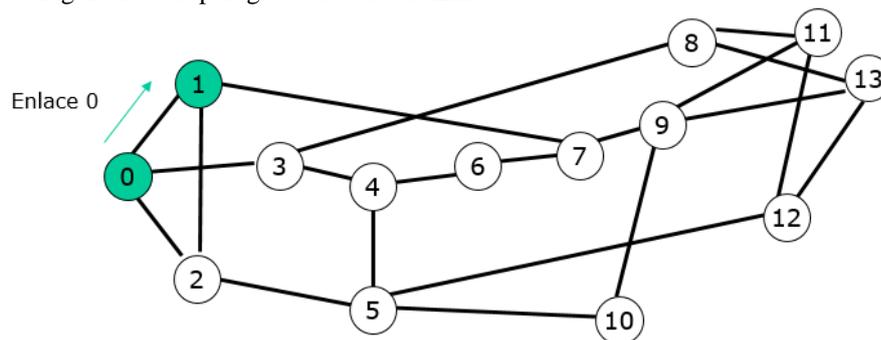
### 4.3.3 Segunda Simulação - Configuração

Neste experimento, busca-se verificar se a intervenção no tráfego decorrente da aplicação de prioridades (diferenciação de serviço) no estabelecimento ou manutenção de LSPs, materializada na ocorrência de eventos de bloqueios, devoluções e preempções de LSPs, ocorrem apenas durante períodos de escassez de largura de banda, i. e., de congestionamento. A avaliação é realizada em três diferentes perfis de ocupação da rede: subutilização, alta utilização com momentos de congestionamento e congestionamento prolongado.

Nesta simulação de cinco horas de duração, o modelo G-BAM é configurado de forma a reproduzir o comportamento do modelo AllocTC-Sharing (que permite compartilhamento LTH e HTL). Diferentemente do primeiro cenário em que se utilizou geração de tráfego aleatória, este cenário testa o comportamento em três diferentes condições de geração de tráfego pré-estabelecidas, alternando entre baixa, média e alta taxa de geração de novos LSPs.

Para esta demonstração foi definido como única fonte de tráfego o nó 0 e como único destino o nó 1 da topologia utilizada (Figura ), correspondentes ao enlace 0. Dessa forma, o enlace (*link*) 0 experimenta os três diferentes perfis de utilização da largura de banda necessários para esta avaliação: (1) uma fase de subutilização, (2) uma fase de alta ocupação, com variações de tráfego entre as CTs e (3) uma fase de congestionamento prolongado.

Figura 14 – Topologia da rede NSF. Enlace 0



Estes diferentes perfis de tráfego são utilizados para verificar em quais fases ocorrem as intervenções no tráfego decorrentes da aplicação de prioridades.

Os parâmetros de configuração dessa simulação são os seguintes:

- a) Capacidade do enlace: 1.000 Mbps;
- b) Classes de tráfego – CTs existentes: CT0, CT1 e CT2, conforme classificação proposta na Tabela ;

- c) Limites de empréstimo HTL e LTH: 100%; e
- d) Restrições de banda (BCs): BC0, BC1 e BC2, de acordo com a
- e) Tabela .

Os parâmetros configurados para cada LSP são os seguintes:

- a) Tempo de vida dos LSPs: modelado exponencialmente com média de 300 segundos;
- b) Carga dos LSPs: distribuição aleatória entre 5 Mbps e 15 Mbps;
- c) Critério de parada: 5 horas (18.000s); e
- d) Intervalo médio (em segundos) entre novas requisições de LSPs: modelado exponencialmente tendo como média LSPs gerados conforme indicado na Tabela .

A fase 1 da demonstração representa a primeira hora da simulação e é caracterizada por baixa taxa de geração de LSPs<sup>23</sup> 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, implicando na ocorrência de intervenções no tráfego, como eventos de bloqueios, preempções e devoluções de LSPs. Na fase 2 ocorre chegada de LSPs associados à CT0 numa taxa maior. Na fase 3 a taxa de chegada de novos LSPs associados a CT0 permanece alta enquanto também é alta a taxa de chegada de novos LSPs associados a CT1. Na fase 4, o fluxo de chegada de novos LSPs de CT1 é reduzido enquanto os LSPs de CT2 tem sua taxa de chegada aumentada e as de CT0 tem a taxa mantida.

Durante a fase 5 (última hora da simulação) tem-se alta taxa de geração de LSPs associados a todas as CTs. Nesta última fase, caracterizada como de congestionamento prolongado, a quantidade de bloqueios, preempções e devoluções de LSPs tende a ser maior do que nas outras fases.

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

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

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE PROPORCIONALIDADE

Os resultados apresentados nesta seção referem-se à primeira simulação.

<sup>23</sup> Este trabalho utiliza por muitas vezes o termo “geração de LSP” para representar uma nova requisição de LSP.

O número médio de LSPs gerados por tempo, conforme ilustrado na Figura , corresponde a uma geração aleatória de tráfego, com sua taxa de geração variando ao longo das 24 horas de simulação.

Os percentuais médios de LSPs gerados aleatoriamente para cada CT estão ilustrados na

Tabela . O Apêndice B encerra os resultados completos das simulações.

É possível notar um equilíbrio na geração de LSPs para cada CT. Este equilíbrio é adequado e importante para as análises de desempenho por Classe de Tráfego, pois indica que não ocorreu nenhum desbalanceamento exagerado na geração de LSPs que pudesse implicar em distorções nos índices de desempenho avaliados<sup>24</sup>.

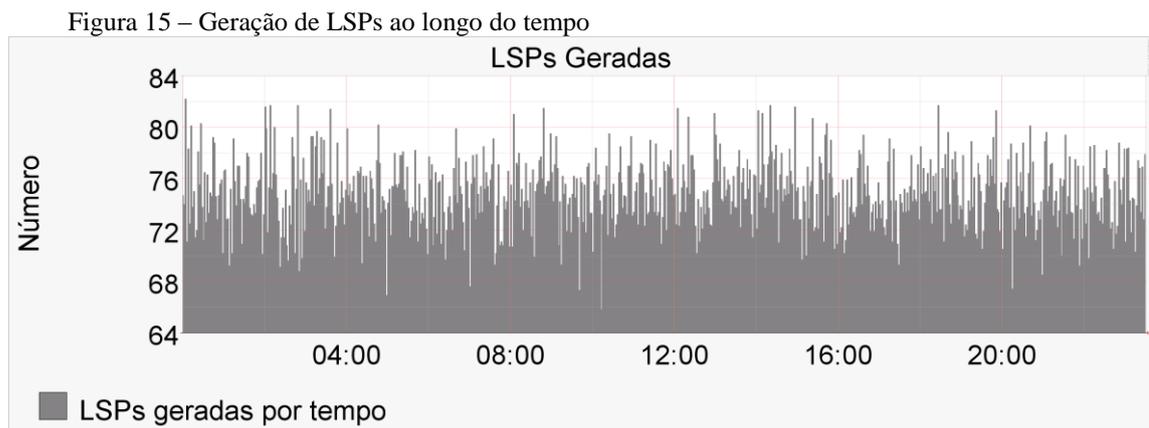


Tabela 5 – Percentuais de LSPs gerados para cada CT - primeiro cenário de simulação

	Total	Percentual
<b>lspGeradosCT[0]</b>	71.826	33,31%
<b>lspGeradosCT[1]</b>	72.069	33,42%
<b>lspGeradosCT[2]</b>	71.742	33,27%

#### 4.4.1 Comparação AllocTC-Sharing vs RDM vs MAM – avaliação de desempenho

<sup>24</sup> Não é o foco deste trabalho estudar as correlações entre as taxas de LSPs gerados e as taxas de LSPs atendidos, nem foi encontrado nenhum estudo deste tipo na literatura referenciada. Contudo, para esta avaliação específica, considera-se que uma taxa balanceada de LSPs gerados por CT, isto é, uma taxa muito próxima para todas as CTs, tem menor probabilidade de gerar distorções nos índices de desempenho avaliados.

A

Tabela apresenta os resultados gerais deste cenário de simulação. É possível notar que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing tem números globais melhores se comparados com o MAM e o RDM: maior volume de tráfego atendido; menor número de LSPs bloqueados; menor número de LSPs preemptados; e maior número de LSPs atendidos, considerando o mesmo número de LSPs gerados. Este resultado decorre da estratégia oportunista utilizada pelo AllocTC-Sharing, que permite compartilhamento LTH e HTL.

Os resultados da simulação demonstram que o G-BAM, quando configurado para reproduzir o modelo AllocTC-Sharing, consegue trabalhar mais próximo da capacidade da rede, considerando os 42 enlaces da rede NSF. Este comportamento levou a disponibilizar largura de banda a um número de 1.638 LSPs a mais que o RDM e 13.716 a mais que o MAM, conforme registrado na Figura . Como consequência, o percentual médio de largura de banda atendida, considerando o tráfego de 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 . Os percentuais de largura de banda atendida foram calculados dividindo o total de banda atendida pelo total de banda gerada.

Tabela 6 – Resultados gerais do primeiro cenário de simulação

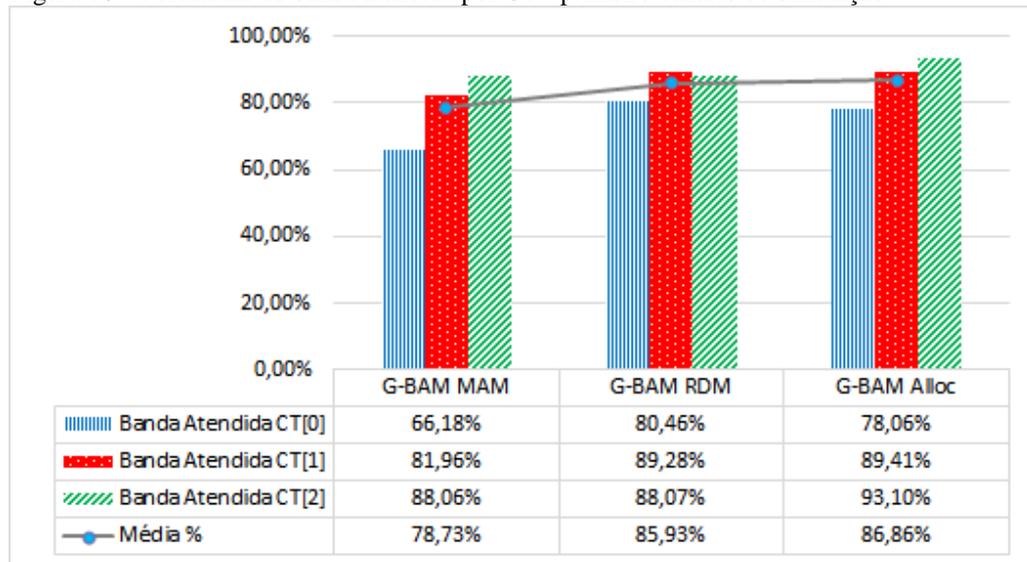
	G-BAM MAM	G-BAM RDM	G-BAM Alloc
<b>Número de LSPs Gerados</b>		215.636	
<b>Número de LSPs Bloqueados</b>	38.028	15.733	12.066
<b>Número de LSPs Preemptados</b>	0	10.174	9.768
<b>Número de LSPs Atendidos</b>	176.984	189.062	190.700
<b>Total de Banda Gerada</b>		4.310.324	
<b>Total de Banda Atendida</b>	3.393.779	3.703.503	3.743.722

Contudo, o desempenho global não é o único que deve ser avaliado. No contexto da diferenciação de serviço proposta, é importante que as taxas de atendimento às CTs que comportam o tráfego crítico e de emergência, bem como o tráfego de tempo real ou de uso intensivo de largura de banda, tenham também um valor elevado.

Como esperado, o comportamento RDM é o que atende melhor aos LSPs associados a CT0 (tráfego *Best Effort*). Este resultado decorre da estratégia de compartilhamento LTH utilizada pelo RDM. Para CT1 (tráfego de tempo real ou de uso intensivo de largura de banda), RDM e AllocTC-Sharing tem desempenho similar, melhorando em cerca de 7% o atendimento em relação ao MAM. Para a CT2 (tráfego crítico ou de emergência), o percentual

médio de largura de banda atendida do AllocTC-Sharing é cerca de 5% maior em relação ao RDM e ao MAM.

Figura 16 – Percentual de banda atendida por CT - primeiro cenário de simulação



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 determinadas CTs.

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 ou de uso intensivo de largura de banda (CT1) do que ao tráfego crítico 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, incluindo as de emergência.

Finalmente, os resultados do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing indicam um percentual maior de utilização da capacidade global da rede associada a uma alocação de recursos compatível o mapeamento proposto, obtendo inclusive as maiores taxas de atendimento para CT1 e CT2. Estas características são implicações diretas das estratégias HTL e LTH de compartilhamento de largura de banda entre CTs. É um comportamento mais

flexível e que responde melhor à dinâmica de variações de perfis do tráfego ao longo do tempo, dando prioridade de atendimento, durante momentos de escassez de largura de banda, ao tráfego de aplicações que tem uma maior sensibilidade a requisitos de qualidade. Mostra-se, portanto, apropriado ao propósito de gerenciamento definido.

O percentual médio de largura de banda atendida pode ser considerado a métrica mais significativa na avaliação no desempenho de um BAM, pois é resultado direto das características de alocação e compartilhamento de largura de banda. Não obstante, é importante analisar e comparar também os percentuais de bloqueios, preempções e de LSP atendidos (global e por CT) dos comportamentos testados<sup>25</sup>, conforme apresentado a seguir. Os valores absolutos estão disponíveis na

Tabela .

Observando os resultados relativos ao comportamento global médio da rede durante as 24 horas de simulação, é possível perceber que o percentual médio de bloqueios de LSPs no MAM é maior que no RDM em cerca de 10% e que o AllocTC-Sharing tem o menor percentual médio de bloqueios de LSPs entre os três comportamentos testados, conforme ilustrado na Figura . Este percentual foi calculado dividindo o número de LSPs bloqueados pelo número de LSPs gerados. O percentual médio de preempções de LSPs no AllocTC-Sharing é também menor que no RDM (

Figura ). Este percentual foi calculado dividindo o número de LSPs preemptados pelo número de LSPs gerados.

Os resultados referentes aos índices de bloqueios e preempções por CT são análogos aos resultados referentes aos índices de atendimento de largura de banda por CT. O comportamento AllocTC-Sharing obteve os índices mais baixos de bloqueio para CT2 e CT1 e o índice mais baixo de preempções para a CT1.

Figura 17 – Percentual de bloqueios de LSPs por CT - primeiro cenário de simulação

---

<sup>25</sup> Não há como comparar os percentuais de devoluções de LSPs, pois ele é resultado da estratégia de compartilhamento LTH, exclusiva do AllocTC-Sharing.

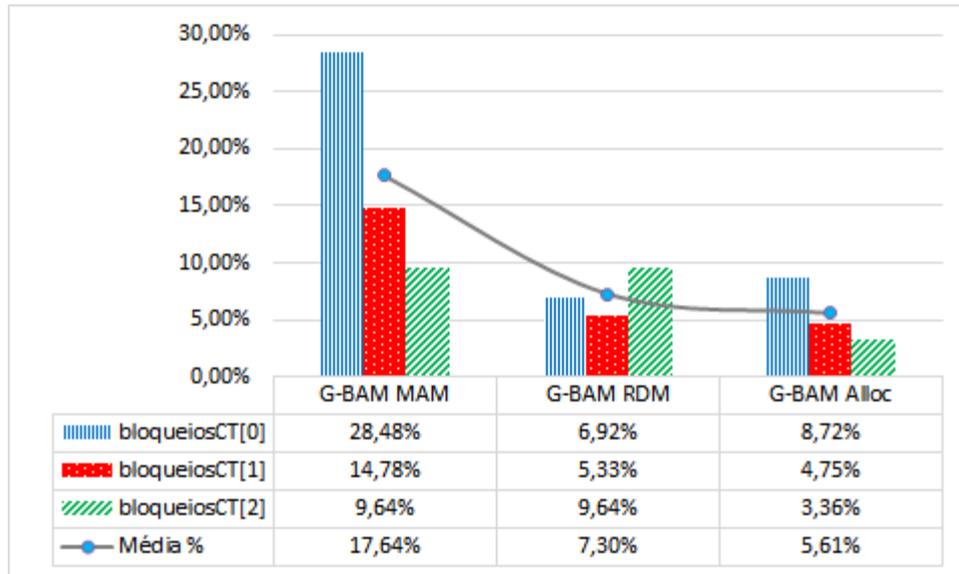
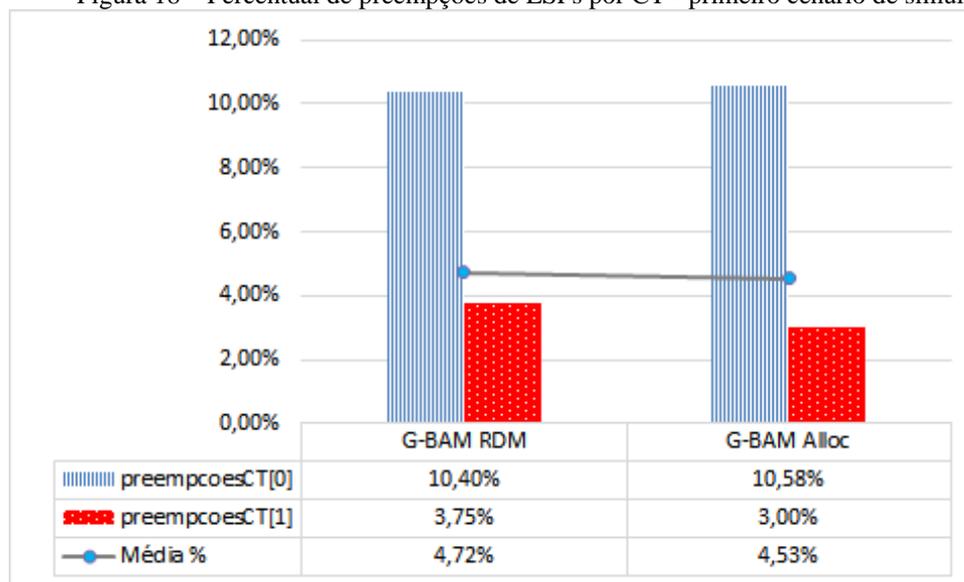
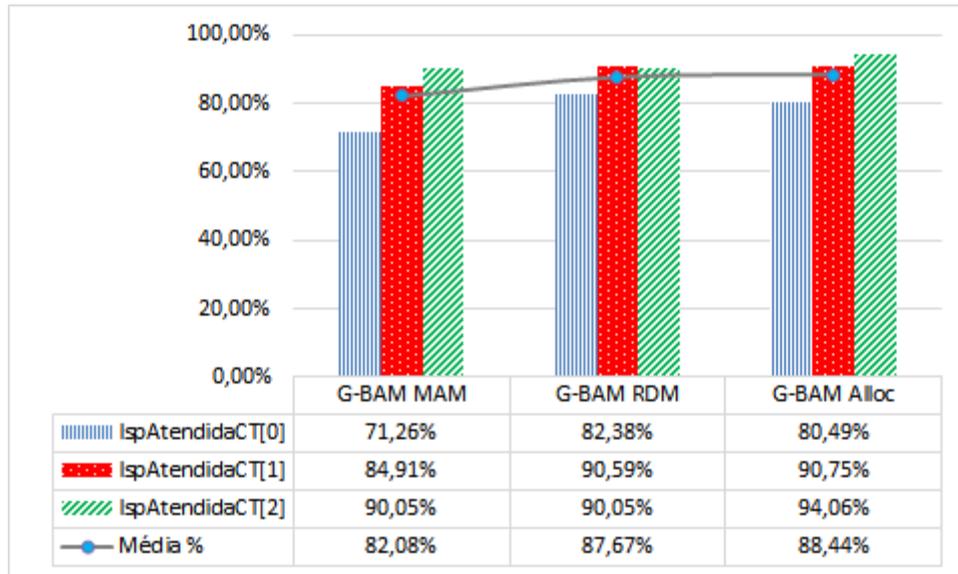


Figura 18 – Percentual de preempções de LSPs por CT - primeiro cenário de simulação



Da mesma forma, os resultados de percentual de LSPs atendidos (Figura ) indicam um desempenho global melhor para o AllocTC-Sharing, bem como melhores índices para a CT2 e para a CT1.

Figura 19 – Percentual LSPs atendidos por CT - primeiro cenário de simulação



Os resultados indicam que o AllocTC-Sharing permite uma maior utilização dos enlaces de rede e um melhor compartilhamento da largura de banda dos enlaces, considerando que as classes de tráfego inferiores podem utilizar a banda não utilizada de CTs hierarquicamente superiores e vice-versa, conforme já havia sido demonstrado em (REALE; NETO; MARTINS, 2011).

A prática atingiu níveis de desempenho maiores que os outros comportamentos testados, considerando todas as métricas utilizadas, tanto em valores absolutos (

Tabela ) quanto em valores percentuais: largura de banda atendida (Figura ), LSPs bloqueados (Figura ), LSPs preemptados (

Figura ) e LSPs atendidos (Figura ).

A diferenciação de serviço foi aplicada e seus resultados estão de acordo com a hierarquia de CTs e mapeamento de aplicações proposto (Tabela ), indicando claramente uma maior probabilidade de atendimento a CT2 em relação a CT1 e em relação a CT0, conforme ilustrado na Figura .

A partir destes resultados, respondendo a duas perguntas realizadas na seção 0, as seguintes conclusões são possíveis:

- A operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing implica em otimização do uso da capacidade da rede; e
- A operação gera resultados condizentes com o mapeamento não discriminatório proposto.

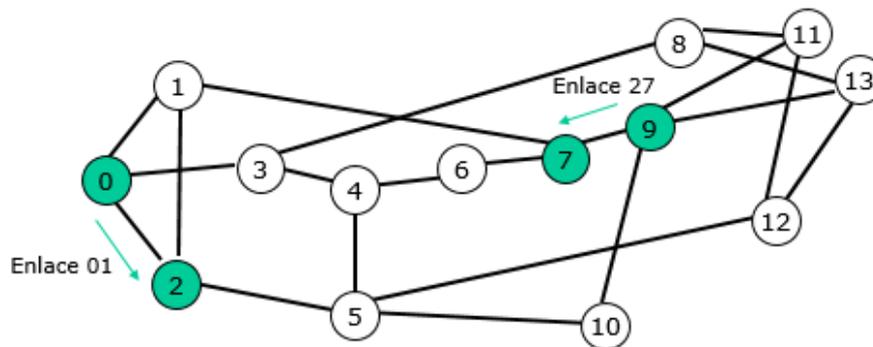
#### 4.4.2 Comparação AllocTC-Sharing vs FRFS

De modo a ilustrar as diferenças de atuação entre o FRFS e o AllocTC-Sharing, foram escolhidos para apresentação os resultados de dois enlaces com perfis de tráfego bem distintos: o enlace 01 e o enlace 27, ilustrados na

Figura . O primeiro apresentou um perfil de utilização baixo – subutilização; e o segundo apresentou um perfil de utilização muito alto – congestionamento:

- Enlace 01, correspondente ao tráfego com origem no nó 0 e destino no nó 2.
- Enlace 27, correspondente ao tráfego com origem no nó 9 e destino no nó 7.

Figura 20 – Topologia da rede NSF – Enlaces 01 e 27



Os gráficos de utilização dos enlaces comprovam que a configuração FRFS não lança mão de nenhuma estratégia de priorização entre as CTs. No enlace 01 (com perfil de utilização baixo), conforme ilustrado na Figura e na

Figura , não é possível perceber diferença significativa entre a operação do AllocTC-Sharing e do FRSF, ou seja, conforme esperado para um enlace subutilizado, não ocorreu priorização entre o tráfego marcado como CT0, CT1 ou CT2. Este é um indício de que o comportamento AllocTC-Sharing somente executa diferenciação de serviço quando há disputa por recursos, o que não ocorre em um enlace subutilizado. Esta característica é analisada de forma mais detalhada na próxima seção.

Figura 21 – Utilização do enlace 01. G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing

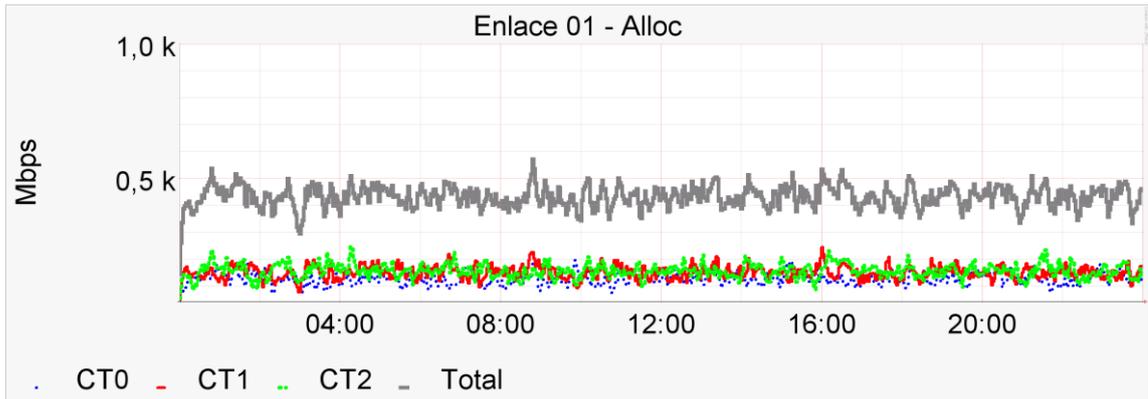
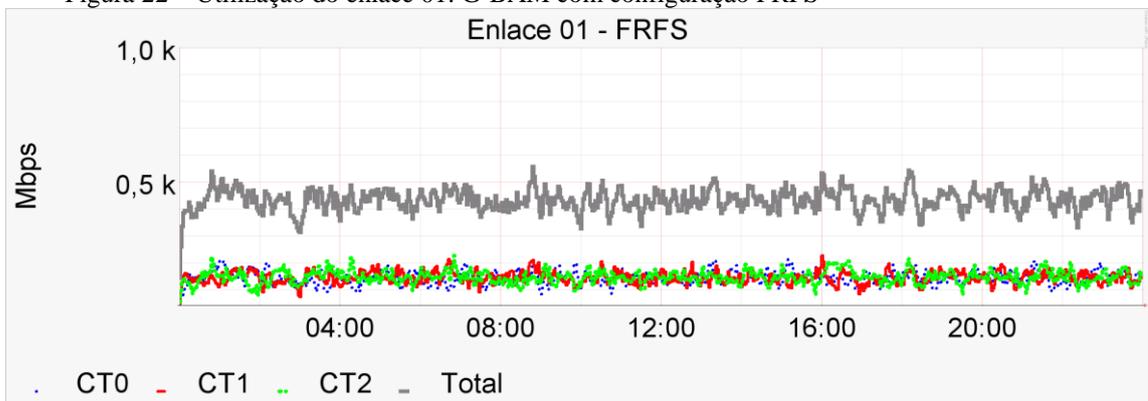


Figura 22 – Utilização do enlace 01. G-BAM com configuração FRFS



Por outro lado, no enlace 27, no qual ocorre congestionamento, é possível evidenciar as diferenças de operação entre a configuração FRFS e o comportamento AllocTC-Sharing. Para o AllocTC-Sharing é possível perceber claramente a predominância de CT2 sobre CT1 e sobre CT0, conforme ilustrado na Figura . Já a configuração FRSF, conforme esperado, não impõe qualquer diferenciação no atendimento ao tráfego (

Figura ).

Figura 23 – Utilização do enlace 27. G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing

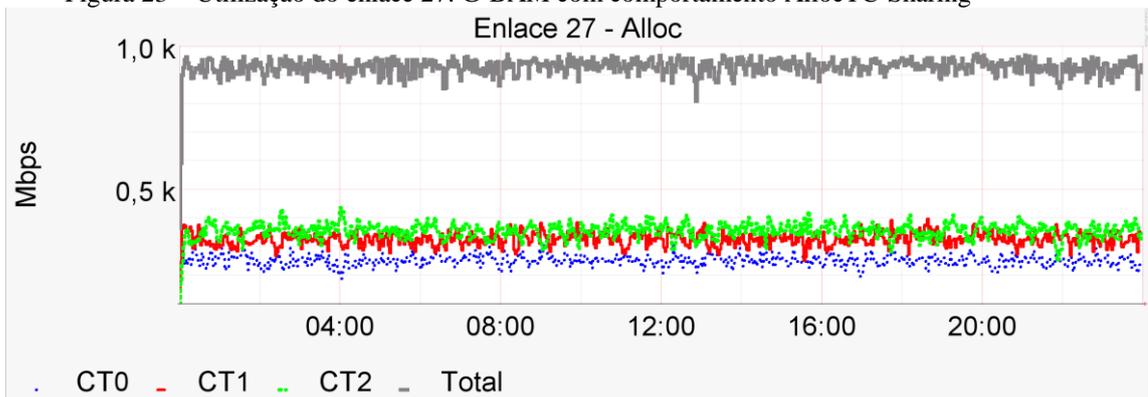
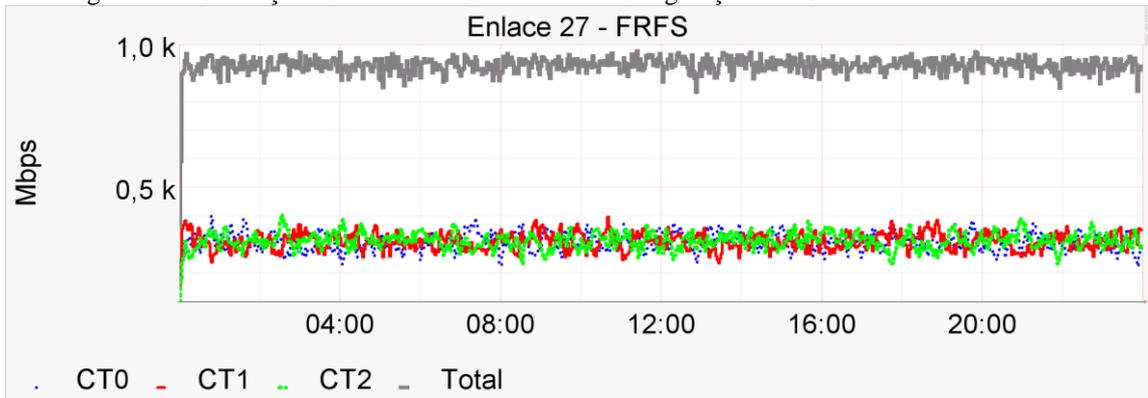


Figura 24 – Utilização do enlace 27. G-BAM com configuração FRFS



Por sua vez, os gráficos de utilização da capacidade dos enlaces 01 e 27 (Figura e

Figura ) indicam que tanto o AllocTC-Sharing quanto o FRFS se utilizam eficientemente da capacidade do enlace congestionado (enlace 27) e respondem praticamente da mesma forma ao perfil de tráfego de subutilização do enlace 01.

Figura 25 – Utilização do enlace 01. Comparação entre AllocTC-Sharing e FRFS

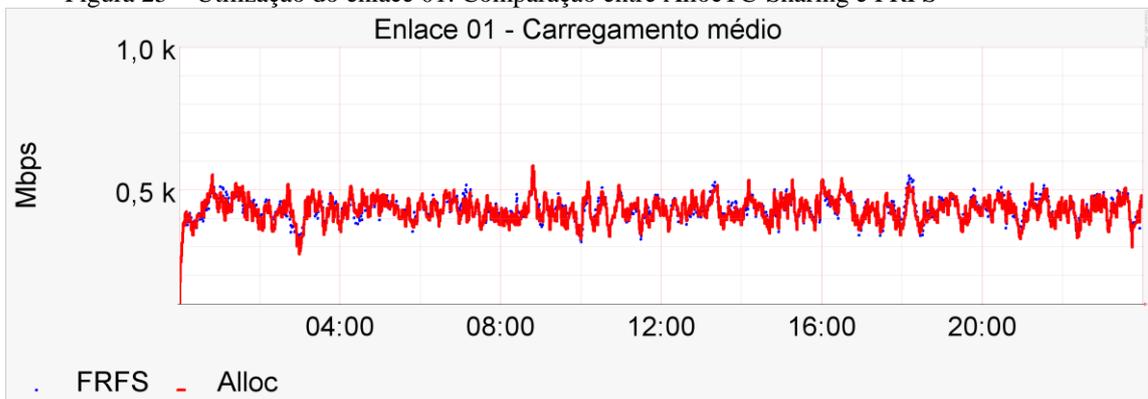
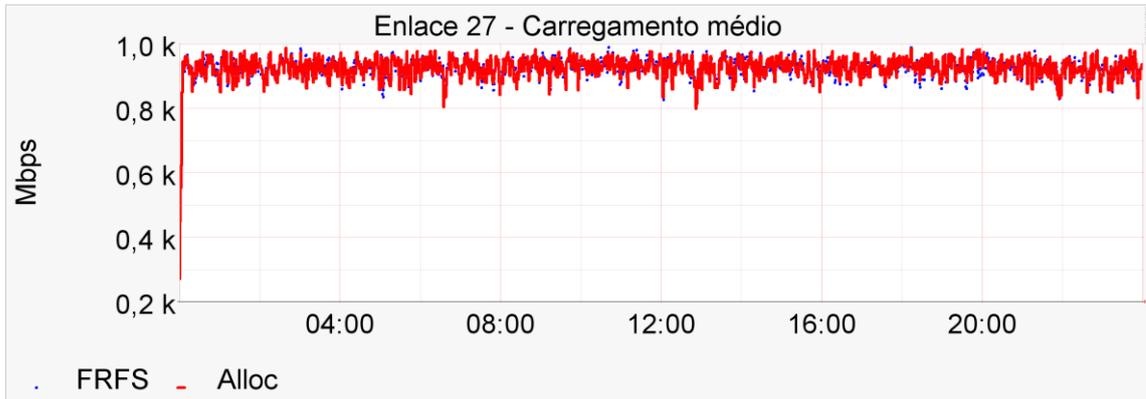


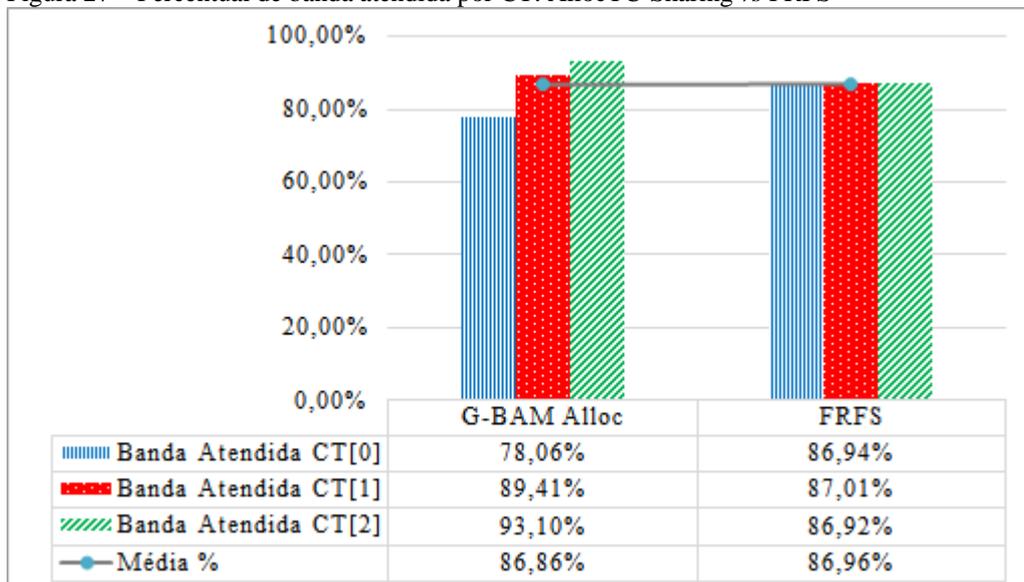
Figura 26 – Utilização do enlace 27. Comparação entre AllocTC-Sharing e FRFS



Os resultados estatísticos de desempenho global (Figura ), 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, quando verificado os percentuais de largura de banda atendida por CT, os níveis de desempenho são diferentes.

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 dessas 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).

Figura 27 – Percentual de banda atendida por CT. AllocTC-Sharing vs FRFS



No Capítulo introdutório foram mencionadas as duas condições necessárias para garantia de QoS para uma variedade de tráfego: largura de banda garantida, inclusive sob congestionamento; e tratamento apropriado do tráfego baseado em classes. O FRFS não atende a nenhuma das duas.

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, pois existe uma reserva mínima de recursos alocada para cada CT. Não obstante, o AllocTC-Sharing trabalha bem próximo da eficiência máxima dos enlaces em razão de suas estratégias de compartilhamento de largura de banda. Dessa forma, como a opção menos interferente não se mostrou igualmente efetiva no alcance do propósito do gerenciamento, o mecanismo avaliado pode ser considerado uma solução proporcional.

Os propósitos da operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing foram delineados na seção 0: contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, sob a forma do atendimento adequado aos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações e otimização do uso da capacidade da rede.

O comportamento AllocTC-Sharing atingiu níveis de desempenho maiores que os outros comportamentos testados, considerando todas as métricas utilizadas, conforme detalhado na subseção 0. Por sua vez, a diferenciação de serviço aplicada gera resultados condizentes com o mapeamento não discriminatório proposto, cujo objetivo é proporcionar experiências satisfatórias ao usuário final sob o ponto de vista de QoS. Os resultados das simulações indicaram claramente o atendimento a CT2 com melhores taxas em relação a CT1 e a CT0, conforme ilustrado na Figura .

Conforme já destacado, considerando a utilização de Modelos de Alocação de Banda em redes multisserviço, a utilização de Classes de Tráfego é necessária para alcançar a diferenciação de serviço proposta. Neste sentido, os resultados da comparação do comportamento AllocTC-Sharing com uma configuração sem Classes de Tráfego indicam que a última opção não alcança os mesmos resultados que a primeira, especialmente em relação ao tráfego mais sensível a requisitos de qualidade (CT1 e CT2), conforme ilustrado na Figura .

A partir dos resultados apresentados e discutidos, respondendo a duas perguntas realizadas na seção 0, as seguintes conclusões são possíveis:

- A diferenciação de serviço aplicada é necessária e apropriada para alcançar o propósito do gerenciamento; e
- O uso de uma configuração sem Classes de Tráfego (menos interferente) não alcança os mesmos resultados que o AllocTC-Sharing alcança.

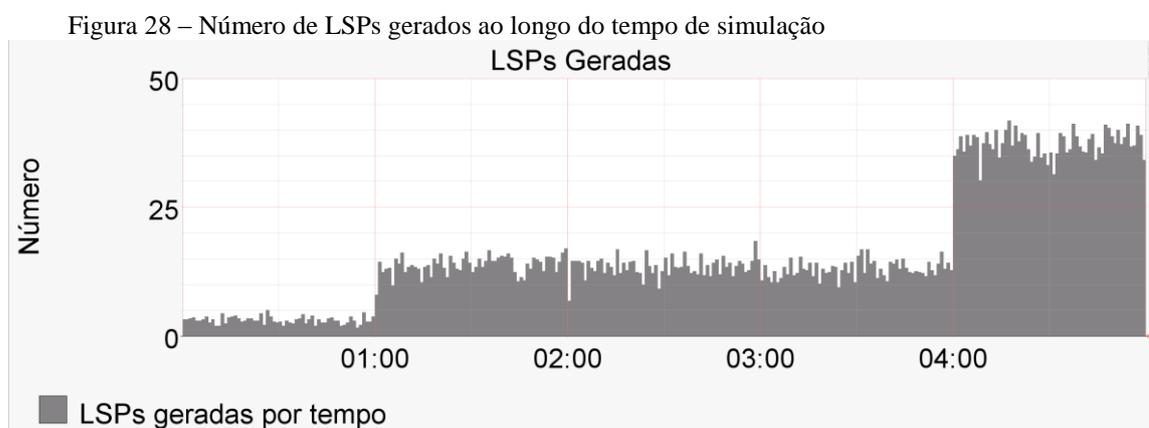
#### 4.4.3 Conclusão

Os resultados são consistentes com a proporcionalidade requerida de uma prática de ITM razoável. A operação da prática avaliada implica em otimização do uso da capacidade da rede e sua operação gera resultados condizentes com o mapeamento não discriminatório proposto. Ademais, a diferenciação de serviço aplicada pelo AllocTC-Sharing é necessária e é a forma menos interferente de se alcançar o propósito definido, considerando a rede e as tecnologias aplicadas.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DE EXCEPCIONALIDADE

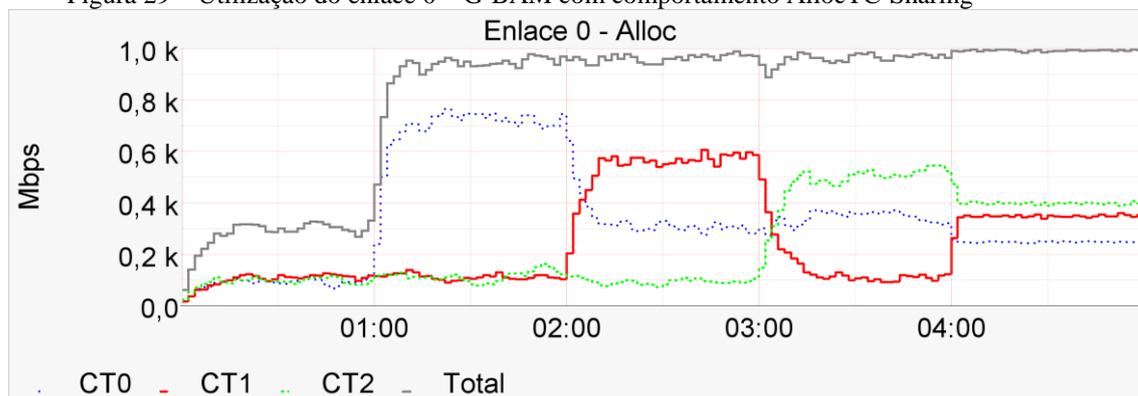
Os resultados dessa seção referem-se à segunda simulação. Procura-se demonstrar as características de operação de rede do comportamento AllocTC-Sharing de forma que seja possível apontar qual é o gatilho para aplicação de tratamento diferenciado.

O número de LSPs gerados por tempo, conforme ilustrado na Figura , corresponde às três diferentes condições de geração de tráfego pré-estabelecidas: baixa, média e alta taxa de geração de novos LSPs. O Apêndice B encerra os resultados completos das simulações.



O gráfico de utilização do enlace 0 por CTs (Figura ) ilustra a reação do AllocTC-Sharing aos diferentes níveis de utilização do enlace.

Figura 29 – Utilização do enlace 0 – G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing



Com o AllocTC-Sharing, a aplicação de prioridades no estabelecimento ou manutenção de LSPs (diferenciação de serviço) só ocorre quando o enlace não tem largura de banda suficiente para atender a uma requisição de novo LSP. Esta aplicação de prioridades vai resultar nos três seguintes eventos: (1) preempção<sup>26</sup> de LSP estabelecido e (2) devolução<sup>26</sup> de LSP estabelecido, quando não houver largura de banda suficiente no enlace para atender a nova requisição e houver saldos positivos de banda emprestada (HTL e LTH, respectivamente); e (3) bloqueio de LSP, quando não houver largura de banda suficiente no enlace para a atender a nova requisição e não houver saldos positivos de banda emprestada.

Na primeira fase da simulação, entre 00:00 e 01:00, a taxa de geração de LSPs para todas as CTs é baixa, resultando numa baixa ocupação do enlace. Todas as requisições de LSP são atendidas, pois existe largura de banda disponível. Consequentemente, não ocorrem eventos de bloqueios, preempções ou devoluções, conforme ilustrado na Figura e na

Figura .

Entre 01:00 e 02:00, diante do incremento nas requisições de LSPs associados à CT0, lançando mão da estratégia de compartilhamento HTL, o AllocTC-Sharing atende ao máximo de requisições possíveis, emprestando à CT0 a banda não utilizada por CT1 e por CT2 até o limite da capacidade do enlace. Ocorrem bloqueios apenas das requisições de LSPs associados à CT0 que não possam ser estabelecidas por indisponibilidades instantâneas de largura de banda ou preempções de LSPs estabelecidos associados à CT0 para que o tráfego concorrente de CT1 ou CT2 possa ser atendido em dado instante.

<sup>26</sup> Estes são os dois casos nos quais o tráfego de uma CT é interrompido (remoção de LSP) para que se possa atender prioritariamente a uma outra CT (estabelecimento de LSP). Vide seção 0.

Figura 30 – Número de LSPs bloqueados por CT no enlace 0 - AllocTC-Sharing

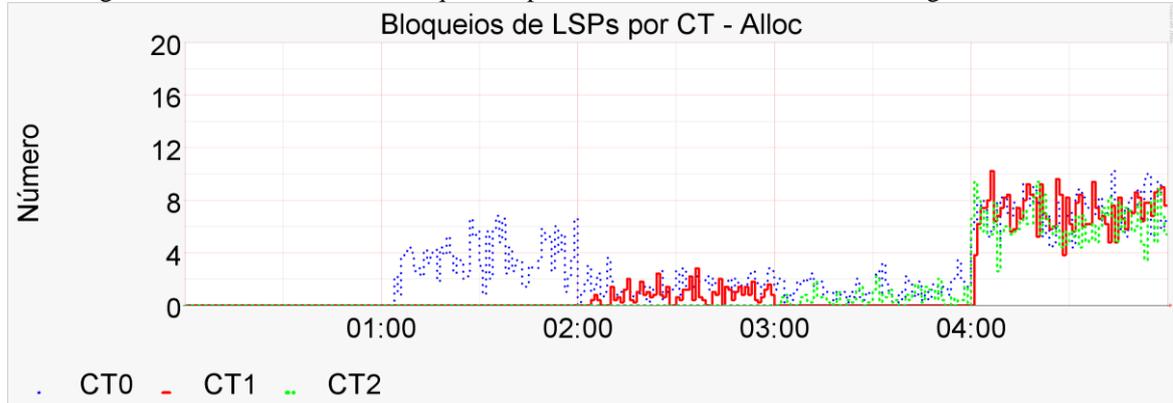
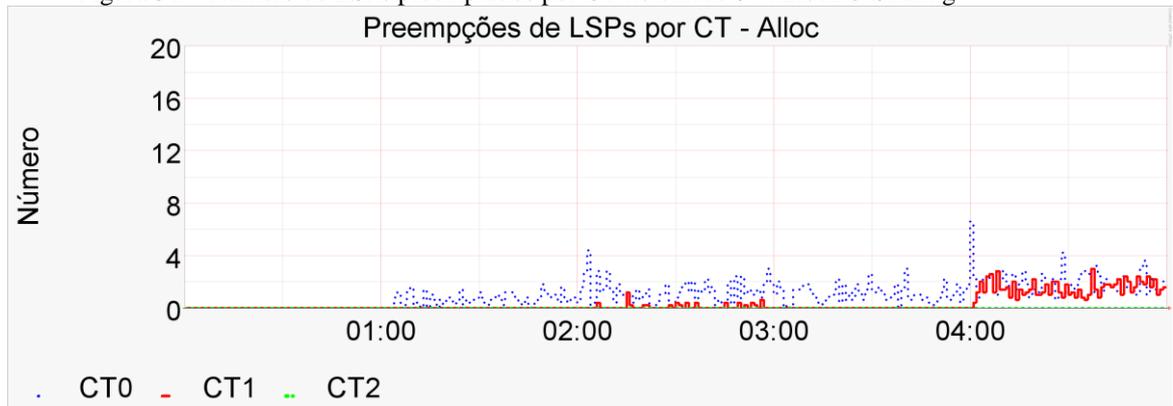


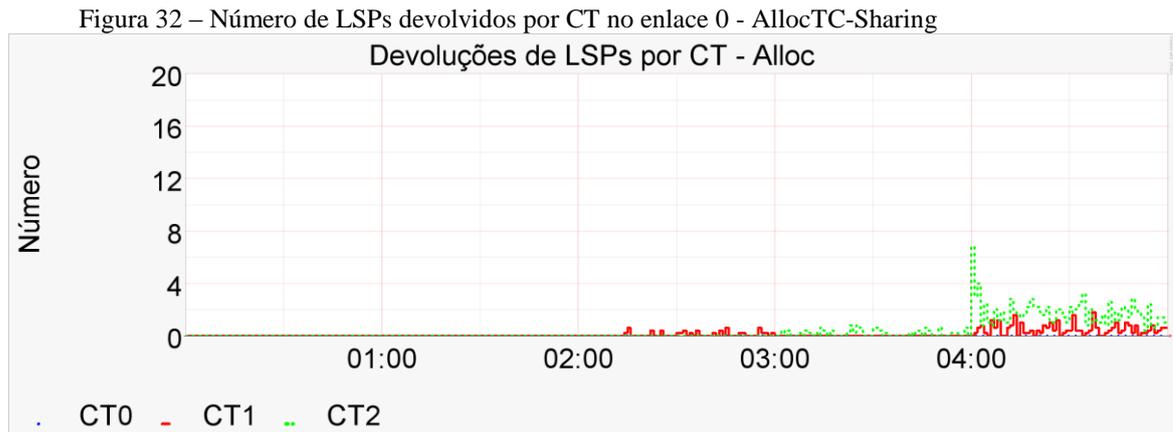
Figura 31 – Número de LSPs preemptados por CT no enlace 0 - AllocTC-Sharing



Na fase 3, entre 00:02 e 00:03, a taxa de chegada de novos LSPs associados a CT0 permanece alta enquanto é incrementada a taxa de chegada de novos LSPs associados a CT1. A capacidade do enlace continua a ser utilizada até o seu limite. O AllocTC-Sharing lança mão da estratégia de compartilhamento HTL e empresta para CT1 a banda não utilizada por CT2 e, em razão da estratégia de compartilhamento LTH, empresta a banda eventualmente não utilizada por CT0.

É possível observar a ocorrência de bloqueios de requisições de LSPs tanto para CT0 como para CT1 (Figura ), bem como de preempções de LSPs estabelecidos tanto de CT0 quanto de CT1 (

Figura ). Pela primeira vez nesta simulação é possível observar a ocorrência de devoluções (Figura ). A banda eventualmente não utilizada por CT0 que foi emprestada a CT1 é devolvida, sob a forma de remoção de LSPs estabelecidos e associados a CT1 com o consequente estabelecimento de LSPs associados a CT0.



Entre 03:00 e 04:00, o fluxo de chegada de novos LSPs de CT1 é reduzido enquanto os LSPs de CT2 tem sua taxa de chegada aumentada e os de CT0 tem a taxa mantida em níveis altos. A capacidade do enlace continua a ser utilizada até o seu limite. O AllocTC-Sharing lança mão das estratégias de compartilhamento LTH e HTL e a banda não utilizada por CT1 (e eventualmente por CT0) é emprestada a CT2. Caso CT2 não utilize a banda disponível, a sobra é emprestada a CT0. É possível notar a ocorrência de bloqueios e preempções para CT0 e de bloqueios e devoluções para CT2.

Durante a fase 5 (04:00 a 05:00) tem-se alta taxa de geração de LSPs associados a todas as CTs. É o caso de congestionamento prolongado. Este perfil de utilização do enlace implica que o uso da largura de banda pelas 3 CTs fica restrito aos limites configurados em seus respectivos BCs. A disputa pela largura de banda escassa é constante e o índice de intervenções no tráfego (bloqueio, preempção e devolução) é alto para todas as CTs, em contraponto com a fase inicial.

Estes resultados indicam ser desnecessário qualquer intervenção no tráfego durante a fase de subutilização da capacidade do enlace (fase 1). Dessa forma, o gatilho para aplicação da diferenciação de serviço é a inexistência de largura de banda disponível (fases 2 a 5) que impede o enlace de atribuir novos LSPs ao tráfego.

Esta é uma característica intrínseca das estratégias de compartilhamento de largura de banda do AllocTC-Sharing, que só precisam lançar mão de bloqueios, preempções ou devoluções para garantir o atendimento aos níveis de prioridades entre as CTs em momentos de efetiva escassez de largura de banda.

Uma característica importante a reforçar é que no intervalo em que existe um maior índice de congestionamento (fase 5) para os três comportamentos simulados, o uso da largura de banda pelas CTs passa a refletir puramente os percentuais de restrições de banda (BCs) por CT configurados para esta simulação, conforme

Tabela . Dessa característica decorre a importância do estudo e avaliação que cada ISP deve promover para definir qual configuração de BC é mais adequada para sua rede (ou se deve lançar mão de meios de reconfiguração em tempo real ou a partir de gatilhos específicos), considerando as características do tráfego do seu conjunto de usuários.

Em resumo, os episódios de bloqueio de requisições de LSPs, de preempções de LSPs e de devoluções de LSPs foram percebidos somente nos 4 momentos nos quais ocorreu disputa por largura de banda (congestionamento do enlace).

#### **4.5.1 Conclusão**

A partir destes resultados, respondendo à pergunta realizada na seção 0, é possível afirmar que:

- O gatilho para aplicação do tratamento diferenciado é a ocorrência de congestionamento. Isso implica que os eventos de bloqueios, devoluções e preempções de LSPs ocorrem apenas em momentos de escassez de recursos, de forma excepcional, até que o congestionamento cesse.

Assim, os resultados são consistentes com a excepcionalidade requerida de uma prática de ITM. A diferenciação de serviço aplicada pelo AllocTC-Sharing é excepcional e temporária.

#### **4.6 AVALIAÇÃO GERAL DE CONFORMIDADE DA PRÁTICA PROPOSTA COM A NEUTRALIDADE DE REDE**

Como proposto, o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing atua, via de regra, de forma igualitária, sem aplicar qualquer tratamento diferenciado no tráfego. Os resultados

das simulações indicaram que, para períodos ou perfis de subutilização dos enlaces da rede, não ocorre priorização de atendimento entre o tráfego das diferentes CTs. Este é o primeiro (e mais importante) requisito para a conformidade com a neutralidade de rede: respeitar a regra de não discriminação.

Superado este requisito, passa-se a avaliar a exceção à regra de não discriminação: o gerenciamento de tráfego, especificamente, a aplicação de diferenciação de serviço.

Os requisitos para qualificação como prática de ITM razoável, única exceção prevista à regra de não discriminação, são: transparência, propósito legítimo, isonomia, proporcionalidade e excepcionalidade.

Na seção 4.1 foram apresentadas as considerações acerca do atendimento à transparência requisitada e demonstrado o adequado alinhamento dos propósitos do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing com a definição de propósito legítimo trazida pela neutralidade de rede.

A seção 4.2 apresentou uma proposta de mapeamento isonômico de aplicações em Classes de Tráfego, a partir do qual situações similares, em termos de requisitos de QoS, recebem tratamento similar; e situações diferentes, também em termos de requisitos de QoS, recebem tratamento diferentes, exclusivamente em razão da necessidade de se atender adequadamente a seus requisitos técnicos.

O tratamento diferenciado aplicado baseia-se no mapeamento proposto e tem duas justificativas: (1) tratar disputas por largura de banda entre CTs em momentos de falta de largura de banda disponível para atender a todas as requisições (congestionamento); e (2) dar prioridade de atendimento, durante momentos de congestionamento, a requisições de largura de banda associadas ao tráfego de aplicações que tem uma maior sensibilidade a requisitos de qualidade, e, portanto, potencialmente sofreriam queda significativa de desempenho.

Os resultados da diferenciação de serviço aplicada estão de acordo com a hierarquia de CTs e mapeamento de aplicações proposto, indicando claramente uma maior probabilidade de atendimento a CT2 em relação a CT1 e em relação a CT0. Como o mapeamento de aplicações foi realizado seguindo a isonomia proposta e foi baseado exclusivamente em considerações técnicas, considera-se que o gerenciamento de tráfego, mais especificamente a diferenciação de serviço aplicada pelo G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing, pode ser considerado isonômico.

A seção 4.4 apresentou a avaliação de proporcionalidade da prática proposta. Foi demonstrado que a operação do G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing implicou em otimização do uso da capacidade da rede e gerou resultados condizentes com o mapeamento

não discriminatório proposto. Além disso, a diferenciação de serviço aplicada se mostrou necessária e apropriada para alcançar o propósito do gerenciamento: contribuir para a funcionalidade das diversas aplicações da Internet, sob a forma do atendimento adequado aos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações e otimização do uso da capacidade da rede.

Foi provado ainda que o uso de uma configuração sem Classes de Tráfego (sem aplicação de diferenciação de serviço) não alcança os mesmos resultados que o AllocTC-Sharing alcança.

Em resumo, a diferenciação de serviço aplicada pelo AllocTC-Sharing é necessária e é a forma menos interferente de se alcançar o propósito definido, considerando a rede e as tecnologias aplicadas. O propósito não é alcançado pelos outros comportamentos avaliados.

A seção 4.5, por sua vez, avaliou a excepcionalidade da aplicação da diferenciação de serviço pelo AllocTC-Sharing (priorização no estabelecimento ou manutenção de LSPs). Foi provado que a aplicação da diferenciação de serviço ocorre e se mantém apenas durante períodos de escassez de largura de banda, i. e., de congestionamento. Em outras palavras, a diferenciação de serviço aplicada pelo G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing não é regra e sim excepcionalidade.

Assim, foi demonstrado o G-BAM configurado para reproduzir o comportamento do AllocTC-Sharing atende à regra de não discriminação e atende aos requisitos para qualificação como Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) razoável, única exceção prevista à regra de não discriminação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais e conclusões a respeito deste trabalho. A seção 5.1 encerra um resumo do trabalho realizado e a seção 5.2 apresenta possíveis trabalhos futuros.

### 5.1 TRABALHO REALIZADO

O uso do G-BAM configurado para reproduzir o comportamento AllocTC-Sharing foi apresentado e avaliado como um mecanismo de Gerenciamento de Tráfego da Internet (ITM) aplicável a ISPs com o propósito de otimizar o desempenho da rede e o de atender adequadamente aos diferentes requisitos das aplicações, de forma compatível com as regras de neutralidade de rede.

Sua operação foi implementada e simulada com o objetivo de verificar sua aderência à neutralidade de rede, isto é, o atendimento tanto à regra de não discriminação quanto aos requisitos para qualificação como ITM razoável. Em outras palavras, verificou-se o tratamento igualitário do tráfego, como regra; e a aplicação de diferenciação de serviço de forma razoável (isonômica, proporcional e excepcional), como exceção.

A partir dos resultados apresentados, constatou-se que o G-BAM com comportamento AllocTC-Sharing respeitou o mapeamento de tráfego isonômico definido, permitindo adicionalmente o compartilhamento de largura de banda entre as Classes de Tráfego, sem aplicação de prioridades na alocação dos recursos nos períodos em que os enlaces não estiveram congestionados. Foi demonstrado também que o uso concomitante das estratégias de compartilhamento de banda HTL e LTH, característica exclusiva do AllocTC-Sharing, implicou em otimização do uso da largura de banda da rede.

Os períodos em que os enlaces estiveram congestionados serviram para demonstrar a proporcionalidade e excepcionalidade da aplicação da diferenciação de serviço. Por intermédio de comparação com uma configuração sem o uso de Classes de Tráfego, constatou-se que a intervenção no tráfego decorrente da diferenciação de serviço aplicada é proporcional, ou seja, não interfere no tráfego mais do que o necessário. Por sua vez, os eventos relacionados às priorizações de tráfego ocorreram apenas em momentos de congestionamento, evidenciando a excepcionalidade da intervenção no tráfego.

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. Dessa forma, sua operação se mostra, ao mesmo tempo, compatível com as regras de neutralidade de rede impostas por diversas Autoridades Reguladoras e eficiente do ponto de vista de utilização da largura de banda, implicando potencialmente na diminuição do impacto regulatório de tais regras. É uma alternativa para os ISPs, podendo ser aplicada em suas estruturas de rede, especificamente em *backbone* e *backhaul* IP/MPLS.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

A continuação ou expansão deste trabalho pode envolver pelo menos dois interessantes estudos: (1) o impacto de mecanismos de reconfiguração dinâmicas (*on-the-fly*) para os percentuais de restrições de banda (BCs) por CT nos índices globais de intervenções no tráfego (preempções, bloqueios e devoluções) e sua adequabilidade ao atendimento às regras de neutralidade de rede. Este estudo pode indicar se para quaisquer percentuais definidos nas BCs o atendimento aos princípios de proporcionalidade e excepcionalidade continua valendo; e (2) uma avaliação da relação do aumento nos índices de atendimento a requisição de LSPs (concessão de largura de banda) com eventuais índices de referência para a Qualidade de Experiência (QoE). Este estudo potencialmente levaria a conclusões mais efetivas sobre os impactos que as regras de neutralidade de rede trazem aos usuários dos serviços e aplicações da Internet, bem como seria capaz de apontar qual o nível de melhoria que o AllocTc-Sharing introduz na QoE dos usuários, levando em conta principalmente os descartes de pacotes (bloqueios de LSPs) por CT.

Este trabalho também mostrou que existe um campo aberto para pesquisas e avaliações complementares. Por exemplo, a operacionalização da classificação do tráfego da Internet é um desafio complexo. Apesar de já existirem mecanismos e estratégias para tal, uma avaliação sobre as práticas mais utilizadas pelos ISPs e seu atendimento às regras de neutralidade de rede pode potencialmente indicar desconformidades ou indicar as melhores práticas a serem seguidas. Conforme indicado na seção 0, o trabalho ora apresentado pode servir de guia para avaliações de outros mecanismos de Gerenciamento de Tráfego da Internet, incluindo outras formas de aplicação de diferenciação de serviço por intermédio de Classes de Tráfego, como o *Class-based weighted fair queueing (CBWFQ)*.

## REFERÊNCIAS

- ANATEL. **Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia, aprovado pela Resolução nº 614, 28 maio 2013**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/465-resolucao-614>>. Acesso em: 19 fev. 2017.
- ANATEL. ANÁLISE Nº 20/2016/SEI/AD. Manifestação da ANATEL sobre a regulamentação da neutralidade de rede prevista na Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014, denominada Marco Civil Internet – MCI. **SEI - Sistema Eletrônico de Informações**. 2015. Disponível em: <[https://sei.anatel.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_visualizar&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=560384&infra\\_sistema=100000100&infra\\_unidade\\_atual=110001067&infra\\_hash=4eb3a6ba548fc41f612c76f8c6b1c0f3440187cb5a22e4300c1e117e3fddcd05](https://sei.anatel.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_visualizar&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=560384&infra_sistema=100000100&infra_unidade_atual=110001067&infra_hash=4eb3a6ba548fc41f612c76f8c6b1c0f3440187cb5a22e4300c1e117e3fddcd05)>. Acesso em: 1 nov. 2016.
- ANDERSSON, L.; SWALLOW, G. **The Multiprotocol Label Switching (MPLS) Working Group decision on MPLS signaling protocols**. IETF. RFC 3468. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- AWDUCHE, D. et al. **RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels**. IETF. RFC 3209. [S.l.]: [s.n.], 2001.
- AWDUCHE, D. et al. **Overview and Principles of Internet Traffic Engineering**. IETF. RCF 3272. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- BELLI, L. **Net Neutrality Reloaded: Zero Rating, Specialised Service, Ad Blocking and Traffic Management**. Rio de Janeiro: FGV Direito Rio, 2016.
- BEREC. A framework for Quality of Service in the scope of Net Neutrality. [S.l.]: [s.n.], 2011.
- BEREC. Guidelines for quality of service in the scope of net neutrality. [S.l.]: [s.n.], 2012.
- BEREC. BEREC Guidelines on the Implementation by National Regulators of European Net Neutrality Rules. [S.l.]: [s.n.], 2016.
- BRASIL. 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.
- BRASIL. LEI Nº 12.965. de 23 de abril de 2014. Marco Civil Internet – MCI. 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, p. 1.
- CISCO. MPLS Traffic Engineering, 1999. Disponível em: <[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_0s/feature/guide/TE\\_1208S.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/TE_1208S.html)>. Acesso em: 8 abr. 2017.
- DOVERSPIKE, R. D.; RAMAKRISHNAN, K. K.; CHASE, C. Structural overview of ISP networks. In: KALMANEK, C. R.; MISRA, S.; YANG, Y. R. **Guide to Reliable Internet Services and Applications**. Berlin: Springer, 2010. p. 21-93.

- FAULHABER, G. R. Economics of Net Neutrality: A Review. **Communications & Convergence Review**, v. 3, n. 1, p. 53-64, 2011. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1894286>>. Acesso em: 8 abr. 2017.
- FCC. FCC Releases Open Internet Order, 12 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 em: 15 out. 2016.
- FINEBERG, V. **QoS Support in MPLS networks**. MPLS/FR Alliance. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- GHEIN, L. D. **MPLS Fundamentals**. Indianapolis: Cisco Press, 2006.
- HUAWEI. **Huawei AR150&200&1200&2200&3200 Series - Configuration Guide - MPLS**. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. People's Republic of China. [S.l.]: [s.n.], 2014.
- ITU-T. Y.1221 - Traffic control and congestion control in IP-based networks, 2010. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1221-201006-I/en>>. Acesso em: 12 nov. 2016.
- ITU-T. Y.1541 - Network performance objectives for IP-based services, 2011. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-201112-I>>. Acesso em: 12 nov. 2016.
- JAMOUSSE, B. . A. R. et al. **Constraint-Based LSP Setup using LDP**. IETF. RFC 3212. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- JITSUZUMI, T. Japan's Co-Regulatory Approach to Net Neutrality and its Flaw: Insufficient Literacy on Best-Effort QoS. **Communications & Strategies**, n. 84, p. 93-111, 2011.
- JORDAN, S. A Layered Network Approach to Net Neutrality. **International Journal of Communication**, p. 427-460, 2007.
- JORDAN, S.; GHOSH, A. How to determine whether a traffic management practice is reasonable, 2009. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1999845>>. Acesso em: 13 out. 2016.
- KAUR, G.; KUMAR, D. MPLS Technology on IP Backbone Network. **International Journal of Computer Applications**, v.5, 2010.
- KRUSE, J. Network neutrality and quality of service. **Intereconomics**, v.43,p. 25-30, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/42050>>. Acesso em: 13 out. 2016.
- LE FAUCHEUR, F. **Protocol Extensions for Support of Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering**. IETF. RFC 4124. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- LE FAUCHEUR, F. **Russian dolls bandwidth constraints model for DiffServ-aware MPLS traffic engineering**. IETF. RFC 4127. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- LE FAUCHEUR, F.; LAI, W. **Requirements for Support of Differentiated Services-Aware MPLS Traffic Engineering**. IETF. RFC 3564. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- LE FAUCHEUR, F.; LAI, W. **Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering**. IETF. RFC 4125. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- LEE, R. S.; WU, T. Subsidizing Creativity through Network. **Journal of Economic Perspectives**, v. 23, n. 3, p. 61-76, 2009.
- MARCUS, J. S. **Network Neutrality Revisited: Challenges and Responses in the EU and in the US**. European Parliament. Brussels. [S.l.]: [s.n.], 2014.

- MENDONÇA, R. J. L.; ALMEIDA, A. B. S. Modelo para Análise e Otimização de Backbone para Tráfego IPv6 utilizando MPLS-TE. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. João Pessoa, 9., 2013. **Anais...** Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2013. p. 57-64.
- MENEZES, A. F. **Desafios na aplicação do princípio da neutralidade de rede: um quadro analítico à luz da teoria neoinstitucional para analisar as especificidades da indústria de banda larga brasileira.** 2016. Tese (Doutorado) Centro de Pós-Graduação em Economia. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, p. 297. 2016.
- MILLS, J. **Comcast's Protocol-Agnostic Congestion Management System.** IETF. RFC 6057. [S.l.]: [s.n.], 2010.
- NETO, W. D. C. P. **Proposta e Avaliação:** algoritmos para a Gerencia de Banda e Seleção de Caminhos em Redes MPLS (DS-TE). 2008. Dissertação (Mestrado) Universidade Salvador (UNIFACS). Salvador-BA, p. 148. 2008.
- NETO, W. D. C. P.; MARTINS, J. S. B. A RDM-like Bandwidth Management Algorithm for Traffic Engineering with DiffServ and MPLS Support. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATIONS - ICT. São Petersburgo, Rússia, 2008. **Anais...** São Petersburgo, Rússia: IEEE. 2008. p. 1 - 6.
- NSFNET. NSFNET: About NSFNET. **Information about the NSFNET, which linked scientists and educators located on university campuses in the United States to each other and to their counterparts located in universities, laboratories, and research centers all over the world.** Disponível em: <<http://www.nsfnet-legacy.org/about.php>>. Acesso em: 1 set. 2016.
- PACKET DESIGN. **Understanding and Managing IP/MPLS Mobile Backbone and Backhaul Networks.** [S.l.]: [s.n.], 2015. p. 18.
- PATHANIA, A.; KALRA, P. Network Neutrality Survey. **Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)**, v. 3, n. 1, 2012.
- RAMOS, P. H. S. **Arquitetura da Rede e Regulação: A Neutralidade da Rede no Brasil.** 2015. Dissertação (Mestrado) - Escola de Economia de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo-SP, p. 218. 2015.
- REALE, R. F. **Allocct-sharing - um modelo oportunístico de alocação de banda.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS. Salvador-BA, 2011.
- 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. M. D. S.; MARTINS, J. S. B. Analysis of BAMs Reconfiguration Impacts. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ICT INFRASTRUCTURES AND SERVICES – ADVANCE 2014, 3., Miami, 2014. **Anais...** 2014.
- 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.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 29., Campo Grande, MS, 2011. **Anais...** Campo Grande, MS: SBRC, 2011. p. 163 - 176.

REALE, R. F.; NETO, W. D. C. P.; MARTINS, J. S. B. **Routing in DS-TE Networks with an Opportunistic Bandwidth Allocation Model**. Computers and Communications (ISCC) IEEE Symposium. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 88-93.

ROSEN, E.; VISWANATHAN, A.; CALLON, R. **Multi-Protocol Label Switching Architecture**. IETF. RFC 3031. [S.l.]: [s.n.], 2001.

SCHEWICK, B. V. Network Neutrality and Quality of Service: What a nondiscrimination rule should look like. **Forthcoming, Stanford Law Review**, 67, n. 1, 2015.

SCHUETT, F. Network Neutrality: A Survey of the Economic Literature. **TILEC Discussion Paper N° 2010-014**, 2010. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1573420>>. Acesso em: 1 set. 2016.

SEVCIK, P.; BARTLETT, J.; WETZEL, R. **Application Performance Framework. A Guide to Performance Technology Selection**. [S.l.]: NetForecast, Inc. [S.l.]. 2004. (Report 5069).

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4. ed. [S.l.]: Campus (Elsevier), 2003.

TARDIFF, T. J. Net Neutrality: Economic Evaluation of Market Developments. **Jnl of Competition Law & Economics**, 62, n. 1, 2015. 701-725. Disponível em: <<http://jcle.oxfordjournals.org/content/11/3/701.full>>. Acesso em: 1 set. 2016.

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). 2011.

WU, T. Network Neutrality, Broadband Discrimination. **Journal of Telecommunications and High Technology Law**, v.2, 2003a.

WU, T. Network Neutrality FAQ, 2003b. Disponível em: <[http://www.timwu.org/network\\_neutrality.html](http://www.timwu.org/network_neutrality.html)>. Acesso em: 11 out. 2016.

## APÊNDICE A – BAMSIM – INFORMAÇÕES ADICIONAIS

O simulador de propósito específico BAMSIm (*Bandwidth Allocation Model Simulator*) foi desenvolvido no trabalho de dissertação (NETO, 2008). Em um trabalho de dissertação posterior (REALE, 2011), foi adicionado ao simulador o modelo de alocação de banda AllocTC-Sharing, incluindo os conceitos de “empréstimos” e “devoluções” necessários para a implementação do novo BAM.

Este último trabalho descreve as etapas para utilizar o BAMSIm para simular o comportamento de uma rede DS-TE utilizando os modelos de alocação de banda MAM, RDM e AllocTCSharing. Em resumo, o preparo da simulação passa pela configuração da topologia de rede e das particularidades de uma rede DS-TE utilizando os BAMs. Ele está associado ao seguinte conjunto de etapas: definição da Topologia e das Configurações DS-TE, inicialização de LSPs por CT, execução do Laço de Simulação e coleta das Estatísticas de Simulação.

A versão atual do BAMSIm utiliza linguagem JAVA e é utilizada no grupo de pesquisa sobre BAMs, coordenado pelo Professor Dr. Joberto Sérgio Barbosa Martins.

No atual trabalho foram realizadas parametrizações específicas, a configuração do FRFS e as relacionadas aos gráficos gerados, que foram customizados. Não ocorreu alteração significativa do código fonte do simulador.

## APÊNDICE B – RESULTADOS COMPLETOS DAS SIMULAÇÕES

### SIMULAÇÃO 1 - FRFS

	Semente 5	Semente 2171	Semente 3933	Semente 4535	Semente 8751	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Número de LSPs Preemptadas	0	0	0	0	0	0		
Número de LSPs Preemptadas Debt	0	0	0	0	0	0		
Número de LSPs Bloqueadas	23.024,00	23.230,00	22.381,00	23.221,00	23.055,00	22.982,20	348,90	(22676,38, 23288,02)
Número de LSPs Geradas	215.674,00	215.696,00	215.044,00	215.708,00	216.059,00	215.636,20	367,29	(215314,26, 215958,14)
Número de LSPs Estabelecidas	192.650,00	192.466,00	192.663,00	192.487,00	193.004,00	192.654,00	215,54	(192465,07, 192842,93)
Número de LSPs Atendidas	191.977,00	191.782,00	192.000,00	191.788,00	192.319,00	191.973,20	218,61	(191781,58, 192164,82)
Total de Banda Gerada	4.305.909,00	4.312.748,00	4.294.587,00	4.315.810,00	4.322.567,00	4.310.324,20	10.642,00	(4300996,25, 4319652,15)
Total de Banda Atendida	3.743.092,00	3.745.467,00	3.747.729,00	3.745.332,00	3.758.932,00	3.748.110,40	6.267,85	(3742616,49, 3753604,31)
Total de Banda Estabelecida	3.756.158,00	3.758.198,00	3.760.814,00	3.758.907,00	3.772.259,00	3.761.267,20	6.366,31	(3755686,99, 3766847,41)
bloqueiosCT[0]	7.639,00	7.693,00	7.482,00	7.769,00	7.761,00	7.668,80	117,16	(7566,1, 7771,5)
bloqueiosCT[1]	7.698,00	7.762,00	7.525,00	7.616,00	7.616,00	7.643,40	90,23	(7564,31, 7722,49)
bloqueiosCT[2]	7.687,00	7.775,00	7.374,00	7.836,00	7.678,00	7.670,00	177,87	(7514,09, 7825,91)
preempcoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
preempcoesCT[1]	0	0	0	0	0	0		
preempcoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[1]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
IspGeradasCT[0]	71.739,00	71.888,00	71.655,00	71.971,00	71.877,00	71.826,00	126,77	(71714,89, 71937,11)
IspGeradasCT[1]	72.065,00	71.928,00	71.940,00	72.188,00	72.222,00	72.068,60	136,11	(71949,29, 72187,91)
IspGeradasCT[2]	71.870,00	71.880,00	71.449,00	71.549,00	71.960,00	71.741,60	226,96	(71542,66, 71940,54)
IspEstabelecidasCT[0]	64.100,00	64.195,00	64.173,00	64.202,00	64.116,00	64.157,20	46,52	(64116,43, 64197,97)
IspEstabelecidasCT[1]	64.367,00	64.166,00	64.415,00	64.572,00	64.606,00	64.425,20	176,72	(64270,3, 64580,1)
IspEstabelecidasCT[2]	64.183,00	64.105,00	64.075,00	63.713,00	64.282,00	64.071,60	215,87	(63882,39, 64260,81)
IspAtendidaCT[0]	63.859,00	63.960,00	63.963,00	63.972,00	63.903,00	63.931,40	48,77	(63888,65, 63974,15)
IspAtendidaCT[1]	64.143,00	63.945,00	64.179,00	64.319,00	64.380,00	64.193,20	169,59	(64044,55, 64341,85)
IspAtendidaCT[2]	63.975,00	63.877,00	63.858,00	63.497,00	64.036,00	63.848,60	209,53	(63664,94, 64032,26)
bandaGeradaCT[0]	1.431.039,00	1.435.120,00	1.431.808,00	1.440.354,00	1.438.044,00	1.435.273,00	3.982,82	(1431781,97, 1438764,03)
bandaGeradaCT[1]	1.439.780,00	1.441.285,00	1.433.540,00	1.442.344,00	1.443.963,00	1.440.182,40	4.014,49	(1436663,61, 1443701,19)
bandaGeradaCT[2]	1.435.090,00	1.436.343,00	1.429.239,00	1.433.112,00	1.440.560,00	1.434.868,80	4.165,12	(1431217,98, 1438519,62)
bandaAtendidaCT[0]	1.244.019,00	1.248.309,00	1.249.441,00	1.247.954,00	1.249.380,00	1.247.820,60	2.222,94	(1245872,14, 1249769,06)
bandaAtendidaCT[1]	1.250.320,00	1.251.411,00	1.249.398,00	1.255.747,00	1.258.694,00	1.253.114,00	3.955,51	(1249646,9, 1256581,1)
bandaAtendidaCT[2]	1.248.753,00	1.245.747,00	1.248.890,00	1.241.631,00	1.250.858,00	1.247.175,80	3.597,60	(1244022,42, 1250329,18)
bandaEstabelecidaCT[0]	1.248.711,00	1.252.689,00	1.253.449,00	1.252.447,00	1.253.534,00	1.252.166,00	1.987,90	(1250423,56, 1253908,44)
bandaEstabelecidaCT[1]	1.254.739,00	1.255.527,00	1.254.010,00	1.260.788,00	1.263.125,00	1.257.637,80	4.063,64	(1254075,93, 1261199,67)
bandaEstabelecidaCT[2]	1.252.708,00	1.249.982,00	1.253.355,00	1.245.672,00	1.255.600,00	1.251.463,40	3.807,02	(1248126,46, 1254800,34)

## SIMULAÇÃO 1 - ALLOC

	Semente 5	Semente 2171	Semente 3933	Semente 4535	Semente 8751	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Número de LSPs Preemptadas	9522	10115	9536	9830	9836	9767,8	246,59	(9551,66, 9983,94)
Número de LSPs Preemptadas Debt	2513	2322	2386	2504	2392	2423,4	82,45	(2351,13, 2495,67)
Número de LSPs Bloqueadas	12152	11963	11857	12243	12115	12066	154,45	(11930,62, 12201,38)
Número de LSPs Geradas	215674	215696	215044	215708	216059	215636,2	367,29	(215314,26, 215958,14)
Número de LSPs Estabelecidas	203522	203733	203187	203465	203944	203570,2	285,68	(203319,79, 203820,61)
Número de LSPs Atendidas	190817	190615	190593	190435	191042	190700,4	234,28	(190495,05, 190905,75)
Total de Banda Gerada	4305909	4312748	4294587	4315810	4322567	4310324,2	10.642,00	(4300996,25, 4319652,15)
Total de Banda Atendida	3739188	3745400	3738835	3740291	3754898	3743722,4	6.781,05	(3737778,66, 3749666,14)
Total de Banda Estabelecida	4003463	4017024	4001313	4010931	4022791	4011104,4	9.026,50	(4003192,47, 4019016,33)
bloqueiosCT[0]	6129	6179	6152	6268	6270	6199,6	65,78	(6141,94, 6257,26)
bloqueiosCT[1]	3511	3407	3341	3465	3428	3430,4	63,72	(3374,55, 3486,25)
bloqueiosCT[2]	2512	2377	2364	2510	2417	2436	71,20	(2373,59, 2498,41)
preempcoesCT[0]	7417	7927	7434	7582	7652	7602,4	206,74	(7421,18, 7783,62)
preempcoesCT[1]	2105	2188	2102	2248	2184	2165,4	61,94	(2111,11, 2219,69)
preempcoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[1]	850	774	818	898	835	835	45,29	(795,3, 874,7)
devolucoesCT[2]	1663	1548	1568	1606	1557	1588,4	47,19	(1547,03, 1629,77)
IspGeradasCT[0]	71739	71888	71655	71971	71877	71826	126,77	(71714,89, 71937,11)
IspGeradasCT[1]	72065	71928	71940	72188	72222	72068,6	136,11	(71949,29, 72187,91)
IspGeradasCT[2]	71870	71880	71449	71549	71960	71741,6	226,96	(71542,66, 71940,54)
IspEstabelecidasCT[0]	65610	65709	65503	65703	65607	65626,4	84,50	(65552,33, 65700,47)
IspEstabelecidasCT[1]	68554	68521	68599	68723	68794	68638,2	116,00	(68536,52, 68739,88)
IspEstabelecidasCT[2]	69358	69503	69085	69039	69543	69305,6	233,35	(69101,06, 69510,14)
IspAtendidaCT[0]	57971	57564	57870	57908	57766	57815,8	159,22	(57676,24, 57955,36)
IspAtendidaCT[1]	65372	65327	65439	65322	65550	65402	95,13	(65318,62, 65485,38)
IspAtendidaCT[2]	67474	67724	67284	67205	67726	67482,6	241,92	(67270,55, 67694,65)
bandaGeradaCT[0]	1431039	1435120	1431808	1440354	1438044	1435273	3.982,82	(1431781,97, 1438764,03)
bandaGeradaCT[1]	1439780	1441285	1433540	1442344	1443963	1440182,4	4.014,49	(1436663,61, 1443701,19)
bandaGeradaCT[2]	1435090	1436343	1429239	1433112	1440560	1434868,8	4.165,12	(1431217,98, 1438519,62)
bandaAtendidaCT[0]	1121266	1116114	1123546	1123767	1122598	1121458,2	3.145,87	(1118700,77, 1124215,63)
bandaAtendidaCT[1]	1285641	1288960	1283504	1285550	1291107	1286952,4	3.036,00	(1284291,28, 1289613,52)
bandaAtendidaCT[2]	1332281	1340326	1331785	1330974	1341193	1335311,8	5.004,28	(1330925,44, 1339698,16)
bandaEstabelecidaCT[0]	1279567	1284819	1281392	1285355	1285013	1283229,2	2.598,82	(1280951,28, 1285507,12)
bandaEstabelecidaCT[1]	1352125	1355427	1349846	1356415	1358498	1354462,2	3.457,01	(1351432,05, 1357492,35)
bandaEstabelecidaCT[2]	1371771	1376778	1370075	1369161	1379280	1373413	4.406,33	(1369550,76, 1377275,24)

## SIMULAÇÃO 1 - RDM

	Semente 5	Semente 2171	Semente 3933	Semente 4535	Semente 8751	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Número de LSPs Preemptadas	9958	10372	9965	10197	10673	10233	300,69	(9969,44, 10496,56)
Número de LSPs Preemptadas Debt	0	0	0	0	0	0		
Número de LSPs Bloqueadas	15971	15688	15381	15853	16619	15902,4	457,84	(15501,09, 16303,71)
Número de LSPs Geradas	215674	215696	215044	215708	217439	215912,2	898,62	(215124,54, 216699,86)
Número de LSPs Estabelecidas	199703	200008	199663	199855	200820	200009,8	472,97	(199595,23, 200424,37)
Número de LSPs Atendidas	189081	188967	189053	188968	189486	189111	215,68	(188921,95, 189300,05)
Total de Banda Gerada	4305909	4312748	4294587	4315810	4356147	4317040,2	23.330,92	(4296590,12, 4337490,28)
Total de Banda Atendida	3699062	3703907	3700383	3702870	3716438	3704532	6.928,94	(3698458,63, 3710605,37)
Total de Banda Estabelecida	3918940	3932315	3920955	3928589	3952382	3930636,2	13.326,81	(3918954,95, 3942317,45)
bloqueiosCT[0]	4978	5028	4928	4984	5153	5014,2	85,31	(4939,43, 5088,97)
bloqueiosCT[1]	3929	3809	3738	3869	4214	3911,8	183,18	(3751,23, 4072,37)
bloqueiosCT[2]	7064	6851	6715	7000	7252	6976,4	205,09	(6796,64, 7156,16)
preempcoesCT[0]	7315	7718	7338	7406	7643	7484	184,39	(7322,38, 7645,62)
preempcoesCT[1]	2643	2654	2627	2791	3030	2749	170,20	(2599,82, 2898,18)
preempcoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[1]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
IspGeradasCT[0]	71739	71888	71655	71971	72158	71882,2	197,55	(71709,04, 72055,36)
IspGeradasCT[1]	72065	71928	71940	72188	72721	72168,4	326,50	(71882,22, 72454,58)
IspGeradasCT[2]	71870	71880	71449	71549	72560	71861,6	434,78	(71480,51, 72242,69)
IspEstabelecidasCT[0]	66761	66860	66727	66987	67005	66868	126,81	(66756,85, 66979,15)
IspEstabelecidasCT[1]	68136	68119	68202	68319	68507	68256,6	160,51	(68115,91, 68397,29)
IspEstabelecidasCT[2]	64806	65029	64734	64549	65308	64885,2	292,23	(64629,05, 65141,35)
IspAtendidaCT[0]	59224	58922	59195	59366	59126	59166,6	162,28	(59024,36, 59308,84)
IspAtendidaCT[1]	65265	65236	65341	65271	65251	65272,8	40,45	(65237,34, 65308,26)
IspAtendidaCT[2]	64592	64809	64517	64331	65109	64671,6	298,51	(64409,95, 64933,25)
bandaGeradaCT[0]	1431039	1435120	1431808	1440354	1445003	1436664,8	5.932,12	(1431465,16, 1441864,44)
bandaGeradaCT[1]	1439780	1441285	1433540	1442344	1460205	1443430,8	9.978,92	(1434684,05, 1452177,55)
bandaGeradaCT[2]	1435090	1436343	1429239	1433112	1450939	1436944,6	8.272,09	(1429693,93, 1444195,27)
bandaAtendidaCT[0]	1153540	1149902	1154688	1158844	1154932	1154381,2	3.204,88	(1151572,05, 1157190,35)
bandaAtendidaCT[1]	1284291	1287519	1282848	1285090	1289127	1285775	2.525,68	(1283561,18, 1287988,82)
bandaAtendidaCT[2]	1261231	1266486	1262847	1258936	1272379	1264375,8	5.251,73	(1259772,54, 1268979,06)
bandaEstabelecidaCT[0]	1309355	1314014	1311181	1317033	1318437	1314004	3.821,29	(1310654,56, 1317353,44)
bandaEstabelecidaCT[1]	1344243	1347699	1342508	1348624	1357655	1348145,8	5.870,90	(1342999,82, 1353291,78)
bandaEstabelecidaCT[2]	1265342	1270602	1267266	1262932	1276290	1268486,4	5.186,52	(1263940,3, 1273032,5)

## SIMULAÇÃO 1 - MAM

	Semente 5	Semente 2171	Semente 3933	Semente 4535	Semente 8751	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Número de LSPs Preemptadas	0	0	0	0	0	0		
Número de LSPs Preemptadas Debt	0	0	0	0	0	0		
Número de LSPs Bloqueadas	37873	38327	37319	38256	38367	38028,4	442,44	(37640,59, 38416,21)
Número de LSPs Geradas	215674	215696	215044	215708	216059	215636,2	367,29	(215314,26, 215958,14)
Número de LSPs Estabelecidas	177801	177369	177725	177452	177692	177607,8	186,72	(177444,14, 177771,46)
Número de LSPs Atendidas	177191	176748	177112	176804	177065	176984	196,14	(176812,08, 177155,92)
Total de Banda Gerada	4305909	4312748	4294587	4315810	4322567	4310324,2	10.642,00	(4300996,25, 4319652,15)
Total de Banda Atendida	3392245	3389986	3393312	3393219	3400134	3393779,2	3.796,63	(3390451,36, 3397107,04)
Total de Banda Estabelecida	3403824	3401421	3405162	3405663	3412162	3405646,4	3.995,72	(3402144,06, 3409148,74)
bloqueiosCT[0]	20180	20725	20219	20548	20623	20459	245,47	(20243,84, 20674,16)
bloqueiosCT[1]	10629	10751	10385	10708	10795	10653,6	162,17	(10511,46, 10795,74)
bloqueiosCT[2]	7064	6851	6715	7000	6949	6915,8	136,63	(6796,04, 7035,56)
preempcoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
preempcoesCT[1]	0	0	0	0	0	0		
preempcoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[1]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
IspGeradasCT[0]	71739	71888	71655	71971	71877	71826	126,77	(71714,89, 71937,11)
IspGeradasCT[1]	72065	71928	71940	72188	72222	72068,6	136,11	(71949,29, 72187,91)
IspGeradasCT[2]	71870	71880	71449	71549	71960	71741,6	226,96	(71542,66, 71940,54)
IspEstabelecidasCT[0]	51559	51163	51436	51423	51254	51367	157,44	(51229, 51505)
IspEstabelecidasCT[1]	61436	61177	61555	61480	61427	61415	142,35	(61290,23, 61539,77)
IspEstabelecidasCT[2]	64806	65029	64734	64549	65011	64825,8	200,64	(64649,93, 65001,67)
IspAtendidaCT[0]	51367	50978	51261	51231	51079	51183,2	154,18	(51048,06, 51318,34)
IspAtendidaCT[1]	61232	60961	61334	61242	61214	61196,6	139,65	(61074,2, 61319)
IspAtendidaCT[2]	64592	64809	64517	64331	64772	64604,2	195,25	(64433,06, 64775,34)
bandaGeradaCT[0]	1431039	1435120	1431808	1440354	1438044	1435273	3.982,82	(1431781,97, 1438764,03)
bandaGeradaCT[1]	1439780	1441285	1433540	1442344	1443963	1440182,4	4.014,49	(1436663,61, 1443701,19)
bandaGeradaCT[2]	1435090	1436343	1429239	1433112	1440560	1434868,8	4.165,12	(1431217,98, 1438519,62)
bandaAtendidaCT[0]	950680	945039	950847	952511	950045	949824,4	2.825,96	(947347,38, 952301,42)
bandaAtendidaCT[1]	1180334	1178461	1179618	1181772	1181834	1180403,8	1.441,72	(1179140,1, 1181667,5)
bandaAtendidaCT[2]	1261231	1266486	1262847	1258936	1268255	1263551	3.805,20	(1260215,66, 1266886,34)
bandaEstabelecidaCT[0]	954182	948344	954046	956185	953343	953220	2.923,59	(950657,41, 955782,59)
bandaEstabelecidaCT[1]	1184300	1182475	1183850	1186546	1186000	1184634,2	1.651,45	(1183186,66, 1186081,74)
bandaEstabelecidaCT[2]	1265342	1270602	1267266	1262932	1272819	1267792,2	3.970,69	(1264311,8, 1271272,6)

## SIMULAÇÃO 2 - ALLOC

	Semente 5	Semente 2171	Semente 3933	Semente 4535	Semente 8751	Média	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
Número de LSPs Preemptadas	478	514	852	1038	1022	780,8	270,31	(543,87, 1017,73)
Número de LSPs Preemptadas Debt	384	405	349	180	172	298	113,19	(198,79, 397,21)
Número de LSPs Bloqueadas	2786	2895	3733	3681	3476	3314,2	444,65	(2924,46, 3703,94)
Número de LSPs Geradas	8867	8857	10263	10195	9983	9633	711,37	(9009,47, 10256,53)
Número de LSPs Estabelecidas	6081	5962	6530	6514	6507	6318,8	274,76	(6077,96, 6559,64)
Número de LSPs Atendidas	5108	4929	5215	5190	5199	5128,2	118,80	(5024,07, 5232,33)
Total de Banda Gerada	88602	88589	102714	102549	100424	96575,6	7.340,57	(90141,43, 103009,77)
Total de Banda Atendida	49011	47513	49870	50112	50095	49320,2	1.105,79	(48350,95, 50289,45)
Total de Banda Estabelecida	58158	57283	62285	62569	62621	60583,2	2.634,63	(58273,89, 62892,51)
bloqueiosCT[0]	611	668	2291	2229	2122	1584,2	864,74	(826,24, 2342,16)
bloqueiosCT[1]	1092	1180	334	1074	1052	946,4	345,77	(643,32, 1249,48)
bloqueiosCT[2]	1083	1047	1108	378	302	783,6	406,42	(427,36, 1139,84)
preempcoesCT[0]	263	287	792	799	797	587,6	285,50	(337,35, 837,85)
preempcoesCT[1]	215	227	60	239	225	193,2	74,95	(127,51, 258,89)
preempcoesCT[2]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[0]	0	0	0	0	0	0		
devolucoesCT[1]	95	83	20	87	93	75,6	31,45	(48,04, 103,16)
devolucoesCT[2]	289	322	329	93	79	222,4	125,53	(112,37, 332,43)
IspGeradasCT[0]	2729	2731	5527	5457	5366	4362	1.490,90	(3055,19, 5668,81)
IspGeradasCT[1]	3106	3182	1506	3097	3108	2799,8	724,06	(2165,14, 3434,46)
IspGeradasCT[2]	3032	2944	3230	1641	1509	2471,2	825,97	(1747,22, 3195,18)
IspEstabelecidasCT[0]	2118	2063	3236	3228	3244	2777,8	627,74	(2227,57, 3328,03)
IspEstabelecidasCT[1]	2014	2002	1172	2023	2056	1853,4	381,44	(1519,06, 2187,74)
IspEstabelecidasCT[2]	1949	1897	2122	1263	1207	1687,6	421,94	(1317,76, 2057,44)
IspAtendidaCT[0]	1827	1747	2416	2402	2418	2162	343,55	(1860,87, 2463,13)
IspAtendidaCT[1]	1663	1655	1055	1658	1696	1545,4	274,63	(1304,68, 1786,12)
IspAtendidaCT[2]	1618	1527	1744	1130	1085	1420,8	296,63	(1160,8, 1680,8)
bandaGeradaCT[0]	27419	27343	55508	54789	54086	43829	15.023,34	(30660,7, 56997,3)
bandaGeradaCT[1]	30975	31997	14996	31288	31163	28083,8	7.326,51	(21661,95, 34505,65)
bandaGeradaCT[2]	30208	29249	32210	16472	15175	24662,8	8.152,46	(17516,99, 31808,61)
bandaAtendidaCT[0]	17857	16968	22889	22997	22971	20736,4	3.050,79	(18062,32, 23410,48)
bandaAtendidaCT[1]	15881	16036	10230	16092	16509	14949,6	2.648,55	(12628,09, 17271,11)
bandaAtendidaCT[2]	15273	14509	16751	11023	10615	13634,2	2.697,19	(11270,05, 15998,35)
bandaEstabelecidaCT[0]	20671	20062	30782	30745	31027	26657,4	5.747,84	(21619,29, 31695,51)
bandaEstabelecidaCT[1]	19114	19271	11322	19527	19859	17818,6	3.642,64	(14625,75, 21011,45)
bandaEstabelecidaCT[2]	18373	17950	20181	12297	11735	16107,2	3.832,73	(12747,72, 19466,68)

## APÊNDICE C – PUBLICAÇÃO DO AUTOR SOBRE O TEMA

BARRETO, D. S. S.; REALE, R. F.; MARTINS, J. S. B. **Neutralidade de Rede com Modelos de Alocação de Banda e Comportamentos G-BAM – Análise de Compatibilidade**. Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Belém, PA: 2017. p. 702 – 715. Disponível em <http://sbrc2017.ufpa.br/wp-content/uploads/2017/05/proceedingsSBRC2017.pdf>.