



**Universidade de Aveiro**  
2008

**Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática**

**Gonçalo de Lemos  
Fernandes Matias**

**Gestão de Recursos em Redes *All-IP***



**Gonçalo de Lemos  
Fernandes Matias**

**Gestão de Recursos em Redes *All-IP***

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Prof. Dr. Francisco Fontes, Professor auxiliar convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e da Prof. Dra. Susana Sargento, Professora auxiliar convidada do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro



## **o júri**

presidente

Prof. Dr. Rui Jorge Morais Tomaz Valadas  
professor associado com agregação do Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

## **Arguente**

Prof. Dr. Edmundo Monteiro  
professor associado do Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra

## **Orientador**

Prof. Dr. Francisco Fontes  
professor auxiliar convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da  
Universidade de Aveiro

## **Orientadora**

Prof. Dra. Susana Sargento  
professor auxiliar convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da  
Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Ao professo Francisco Fontes, por ter permitido a minha participação no projecto DAIDALOS e me ter confiado o desenvolvimento do gestor de recursos. Foi bastante útil e pragmática a sua forma de abordar as dificuldades encontradas, permitindo o encontrar de soluções práticas.

À professora Susana Sargento pela disponibilidade que revelou, pelo seu grande envolvimento no projecto, em concreto na parte de simulações, onde a sua valiosa experiência se mostrou decisiva. Uma nota especial, para o seu incansável trabalho de revisão, que permitiu alcançar a versão final em tempo recorde.

Aos engenheiros Ricardo Azevedo, André Oliveira, Vitor Pinto, Jorge Loura, Nuno Carapeto e Nuno Santos; por terem contribuído de forma decisiva para o meu desenvolvimento profissional e pela disponibilidade manifestada para *brainstorming* e *debug* de dificuldades que surgiram no decorrer deste trabalho

À minha família, por me ter dado todas as condições físicas e psicológicas para um saudável trabalho de investigação. Em especial à minha mãe pelo apoio nos momentos mais difíceis; sem ela, este trabalho não teria sido concluído.

## palavras-chave

Gestão de recursos, QoS, CAC, B3G, redes IP, plataforma de medidas, aprendizagem, overbooking, padrões, perfil.

## resumo

A banalização do contacto com a Internet, despertou num crescente número de indivíduos, a interacção com equipamentos, tecnologias, serviços e funcionalidades que se tornam cada vez mais, parte integrante do seu estilo de vida.

Esta explosão, tanto no número de acessos, como na variedade de serviços, veio colocar novos desafios às redes, no que toca ao tratamento dos fluxos de informação gerados pelos dispositivos terminais. Serviços com características de tempo-real impõem requisitos de qualidade de serviço (QoS) bastante objectivos, em termos de perdas, atraso e variação do atraso sofridos pelos pacotes IP ao atravessar uma rede baseada nessa tecnologia.

Elementos inteligentes, gestores de recursos apresentam-se como uma das soluções mais eficazes no controlo dos parâmetros de qualidade de serviço. Por sua vez, mecanismos de controlo de admissão cada vez mais sofisticados, apresentam-se como peças-chave no centro dos motores dos gestores de recursos referidos.

Esta Dissertação define e testa um modelo híbrido para um módulo de controlo de admissão, a integrar numa entidade gestora de recursos IP. O modelo utiliza uma filosofia de aprendizagem baseada em experiência, alimentada por uma plataforma de medidas.

O processo de aprendizagem é efectuado por meio do registo e actualização do comportamento da rede. Este conhecimento vai permitir inferir qual o padrão de tráfego da rede e utilizar essa informação para prever a ocorrência de sobrecargas e fim das mesmas. Desta forma é então possível aplicar um factor de *overbooking* permitindo uma conservatividade adaptativa, aumentando assim a utilização da rede e em simultâneo proteger de uma forma mais eficaz, os níveis de QoS da rede.

Através de procedimentos experimentais utilizando o simulador OMNET++, verifica-se que o modelo proposto permite um aumento na utilização de rede, mantendo os níveis de QoS dentro de intervalos predefinidos.

**keywords**

Resource management, QoS, CAC, B3G, IP networks, measurement platform, learning, overbooking, patterns, profile

**Abstract**

As the average population gained generalized access to the Internet, it also became more exposed to a vast number of equipments, technologies, services and functionalities, which are strongly becoming an integrated part of its lifestyle.

This explosion in access numbers, as well as in service diversity, placed new challenges to the networks, as far as the treatment of terminal generated information flows. Real-time services put well defined constraints of quality of service, for IP packet loss, delay, and jitter.

Resource management entities present themselves as one of the more efficient solutions to control the quality of service parameters. Meanwhile, the more sophisticated admission control mechanisms play key-roles in the center of the resource manager's engines.

This thesis presents and tests a hybrid model for an admission control module, to be integrated in an IP resource manager.

The model has roots on an experience based learning philosophy, fed and regulated by a measurement platform.

The learning procedure is ensured by the storage and update of the network's behavior. This knowledge will allow the generation of the network's traffic pattern and the use of that information to predict overload and its end. This way, the use of an *overbooking* factor is possible, allowing and adaptative conservativeness, enhancing network usage while protecting more accurately the network's QoS levels.

It is verified, by means of experimental results, using the OMNET++ simulator, that the proposed model allows an increase in network usage, while maintaining the network under predefined QoS levels.



## Conteúdo

<b>Acrónimos</b>	12	
1	Introdução	15
1.1	Enquadramento	15
1.2	Objectivos	16
1.3	Estrutura	17
2	Aspectos gerais de gestão de recursos	19
2.1	Recursos de uma rede IP	19
2.2	Qualidade de Serviço	20
2.3	Mecanismos principais para suporte de Qualidade de Serviço	21
2.3.1	Parâmetros de QoS	22
2.3.2	<i>Service Level Agreements (SLAs)</i>	23
2.3.3	Classificação de pacotes	24
2.3.4	Escalonamento de pacotes	25
2.3.5	Marcação, formatação e policiamento	26
2.3.6	Monitorização	27
2.3.7	Controlo de admissão	29
2.4	Arquitecturas IETF para QoS	35
2.4.1	Intserv	35
2.4.2	Diffserv	36
2.4.3	Modelos mistos de Diffserv e Intserv	37
2.4.4	Controlo de admissão em Diffserv – Bandwidth Brokers	38
2.5	Arquitecturas de redes de próxima geração	38
2.5.1	Organização hierárquica	39
2.5.2	TISPAN	41
2.5.3	DAIDALOS	43
2.6	QoS Broker - Gestor de recursos IP	46
2.7	Sumário	49
3	Proposta de melhoria para a gestão de recursos em redes <i>All-IP</i>	51
3.1	Registo de reservas	52
3.2	Medidas de estado da rede	55
3.3	Histórico (sazonalidade)	56

3.4	Overbooking apoiado no estado da rede.....	59
3.5	Sumário .....	62
4	Teste do conceito .....	63
4.1	Objectivo .....	63
4.2	Ambiente de simulação .....	63
4.3	Cenário de testes.....	64
4.3.1	Router .....	65
4.3.2	Gestor de recursos.....	67
4.3.3	Geradores .....	70
4.3.4	Nó destino .....	74
4.4	Aproximações e definições da implementação.....	74
4.5	Mecanismos implementados.....	75
4.5.1	Sinalização de reserva de recursos.....	75
4.5.2	Marcação de pacotes para medidas de QoS.....	76
4.5.3	Monitorização de parâmetros de QoS.....	76
4.5.4	Aquisição de medidas necessárias para cálculos de QoS.....	77
4.5.5	Cálculo de métricas de QoS.....	77
4.5.6	Cálculo de estatísticas de estado da rede .....	78
4.5.7	Dimensionamento e inserção de dados no perfil .....	78
4.5.8	Verificação de operação dentro da classe de QoS.....	79
4.5.9	Verificação da aplicabilidade do perfil de tráfego armazenado .....	79
4.5.10	Análise do perfil de tráfego armazenado .....	80
4.6	Resultados .....	81
4.6.1	Método determinístico.....	81
4.6.2	Método de exploração de padrões armazenados em perfis de tráfego (com <i>overbooking</i> ) .....	84
4.7	Análise de resultados .....	87
4.7.1	Método Determinístico .....	87
4.7.2	Método de exploração de padrões armazenados em perfis de tráfego (com <i>overbooking</i> ) .....	88
4.7.3	Discussão.....	88
5	Conclusões .....	91
5.1	Trabalhos futuros .....	92

•	Introdução de outro nível hierárquico na gestão de recursos:.....	92
•	Estudar o impacto de um perfil diário, por oposição a um bi-semanal	92
•	Verificar a viabilidade para o cálculo de um factor de <i>overbooking</i> que tenha em conta tipos específicos de pedidos.....	93
•	Estudar o impacto que mecanismos de promoção / degradação de fluxos, possam causar aos fluxos já em curso .....	93
•	Comparar a performance de mecanismos com base em análise de perfil de tráfego e em mecanismos estritamente baseados em medidas menos agressivos.....	93
6	Referências	95

## Acrónimos

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AF	Application Function
AR	Access Router
A-RACF	Access-Resource and Admission Control Function
B3G	Beyond Third Generation
BE	Best Effort
CAC	Call Admission Control
CAIDA	Cooperative Association for Internet Data Analysis
CAPEX	CAPital EXpenditure
CLR	Cell Loss Ratio
CODEC	Coder-Decoder
COPS	Common Open Policy Service
DAIDALOS	Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimized personal Services
EBAC	Experience Based Admission Control
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FP6	Framework Programme 6
GSL	Gnu Scientific Library
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	Internet protocol Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol, Integrated Project
IPDV	Inter-Packet Delay Variation
IPER	Internet Protocol packet Error Ratio
IP-FIX	Internet Protocol Flow Information eXport
IPLR	Internet Protocol packet Loss Ratio
IPPM	IP Performance Metrics (IPPM) Working Group
IPTD	Internet Protocol packet Transfer Delay
IPv6	Internet Protocol version 6
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	Standards for Telecommunications sector of the International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MARQS	Mobility Management, AAA, Resource Management, QoS and Security
MBAC	Measurement Based Admission Control
MMSP-P	MultiMedia Service Platform – Proxy
NASS	Network Attachment Subsystem
NGN	Next Generation Network
NSIS	Next Steps in Signaling
P2P	Peer to Peer
PBAC	Parameter Based Admission Control
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PSTN	Public Switched Telephone Network

QoS	Quality of Service
QoSBr	Quality of Service Broker
RACS	Resource and Admission Control Subsystem
RFC	Request For Comments
RSS	Really Simple Syndication
RSVP	Resource reSerVation Protocol
SIB	Seamless Integration of Broadcast
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service-Level Agreement
SLS	Service-Level Specification
SOAP	Service Oriented Architecture Protocol, Simple Object Access Protocol
SPDF	Service-based Policy Decision Function
SPP	Service Provisioning Platform
TISPAN	Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networks
TOS	Type Of Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USP	Ubiquitous and Seamless Pervasiveness
VAD	Voice Activity Detection
VID	Virtual IDentity
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
ZQoSB	Zone Quality of Service Broker



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A crescente disponibilidade de largura de banda, bem como o aumento do poder computacional, vieram, ao longo dos últimos anos, apresentar novos serviços e aplicações que se servem das redes IP (*Internet Protocol*) para comunicar. Destes novos serviços destacam-se a massificação dos serviços de correio electrónico, voz sobre IP (VoIP – *Voice over IP*), passando pelos serviços de VoD (*video-on-demand*), transferência de ficheiros em massa (*shares*, P2P - *peer-to-peer*), *feeds* de notícias (RSS - *Really Simple Syndication*), entre muitos outros; a crescente oferta conseguiu cativar novos utilizadores e fidelizar ainda mais os antigos, passando a fazer parte do estilo de vida dos utilizadores. Conceitos como a composição de serviços ou a explosão do utilizador como produtor de conteúdos (*Web 2.0*), reforçam a ideia de que a tendência de utilização das redes IP terá um aumento ainda mais acentuado.

A forma como todos estes serviços utilizam a rede é bastante heterogénea, verificando-se uma grande variância no que toca aos requisitos dos próprios serviços. Esta realidade vem justificar a implementação de mecanismos de diferenciação das comunicações, com base nos seus requisitos, de forma a permitir a coexistência de todos os serviços. Estes mecanismos, ditos de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*), apresentam-se então como parte fundamental de um paradigma capaz de dar resposta às exigências que cada vez mais se fazem sentir.

A forma como os utilizadores da rede percebem os serviços assume um papel extremamente importante; a forma de garantir boas experiências passa por manter os parâmetros de QoS observáveis, com carácter fim a fim, dentro de intervalos apropriados ao tipo de serviço.

Tradicionalmente, práticas como o sobredimensionamento, alcançaram maior popularidade entre os operadores, conseguindo resolver os problemas em questão partindo do princípio que o dimensionamento das redes pressupõe uma determinada carga e consequentemente, se se verificar que os níveis de operação médios estão aquém do limiar dimensionado, a qualidade da experiência do utilizador não sairá perturbada.

Ao longo de dos últimos anos este conceito tem vindo a revelar-se limitado, em virtude do aparecimento de uma nova classe de fluxos com requisitos de tempo-real e, como tal, não basta garantir taxas de transferência médias e baixas taxas de erros; parâmetros como o tempo de processamento nos nós da rede e tempo

de transferência dos pacotes, passam a ser importantes, uma vez que condicionam o atraso e variação do atraso dos pacotes IP, parâmetros fundamentais em fluxos com características de tempo-real. Outro problema frequentemente apontado a este tipo de solução reside na necessidade de um muito maior investimento (custos CAPEX) por parte dos operadores, que acabam por não tirar o rendimento total das infra-estruturas existentes, devido à ineficiente utilização de recursos sobredimensionados. Por outro lado, em alguns segmentos da rede, especialmente na última milha para o utilizador, o sobredimensionamento pode ser muito difícil ou mesmo impossível, devido ao meio físico disponível (rádio e pares de cobre, especialmente para cenários individuais e residenciais).

A gestão eficiente dos recursos existentes torna-se então num dos processos mais apelativos aos operadores, para solucionar a crescente e heterogénea utilização das redes de comunicação, uma vez que não pressupõe o forte investimento financeiro de ampliação da capacidade e qualidade das infra-estruturas. Também permite controlar os parâmetros de QoS, mantendo-os dentro de intervalos apropriados às diferentes necessidades existentes para cada tipo de serviço ou aplicação. Um factor importante a ter em consideração é a capacidade de aumentar a taxa de utilização dos recursos, minimizando a capacidade reservada mas não utilizada.

A existência de um vasto leque de modelos para efectuar controlo de admissão, sugere que não exista um modelo óptimo, e que a resolução do problema de admissão seja uma solução de compromisso de vários factores.

O ser humano organiza o seu tempo em intervalos que se repetem, e distribui-se em áreas geográficas distintas, agregando actividades comuns, com requisitos de telecomunicações similares. Esta dissertação pretende estudar a existência de padrões de tráfego, que justifiquem a exploração, por parte de um algoritmo de controlo de admissão que se apresente como eficiente e possua suporte à aquisição de dados do exterior que permitam a percepção dos perfis de tráfego característicos da área de acção do gestor de recursos.

## **1.2 Objectivos**

Esta dissertação faz uma proposta de um modelo de aprendizagem para controlo de admissão, para incorporar no interior de um gestor de recursos de rede, num ambiente de rede de próxima geração.

O controlo de admissão deve ter como base padrões de tráfego de rede, armazenados em perfis que são ajustados dinamicamente através de mecanismos de aprendizagem. O mecanismo de aprendizagem é alimentado por uma plataforma de monitorização do estado da rede.

Com este modelo orientado a perfis, pretende-se obter uma previsão do comportamento futuro da rede e assim estimar o factor de *overbooking* a aplicar no algoritmo de controlo de admissão para cada pedido recebido por este. Deverá existir um mecanismo de controlo para aferir a concordância do instante actual com o comportamento registado no perfil, de forma a regular a conservatividade do modelo.

### **1.3 Estrutura**

A dissertação encontra-se organizada em seis Capítulos, cujo conteúdo se apresenta de seguida:

O primeiro Capítulo prende-se com aspectos introdutórios de motivação e enquadramento da dissertação. São descritos os objectivos e é apresentada a estrutura do documento.

No Capítulo seguinte é efectuado um estudo cujo foco é apresentar mecanismos de gestão de recursos, tecnologias associadas e subjacentes; apresentar arquitecturas que recorrem a esses mecanismos para efectuar a sua gestão e ainda apresentar o conceito de entidade gestora de recursos. Neste Capítulo são então abordados em detalhe os conceitos fundamentais associados à gestão de recursos, que servirão de base ao modelo proposto.

O terceiro Capítulo apresenta a proposta para gestão de recursos com base em informação proveniente de um perfil de tráfego.

O quarto Capítulo prende-se com os aspectos experimentais, onde é apresentada a plataforma de simulações, cenário de testes, resultados e respectiva análise.

Finalmente, o quinto Capítulo apresenta conclusões finais sobre o trabalho realizado e apresenta ideias e possibilidades para investigações futuras.



## **2 Aspectos gerais de gestão de recursos**

Nesta secção pretende-se abordar de uma forma panorâmica, diversos temas associados à gestão de recursos. Numa primeira fase descrevem-se os mecanismos principais de suporte de qualidade serviço, apresentando de seguida as arquitecturas propostas pelo IETF para possibilitar qualidade de serviço. A secção seguinte focaliza-se nas redes de próxima geração, explorando dois modelos conceptuais, culminando finalmente numa secção onde são examinados vários mecanismos de controlo de admissão.

### **2.1 Recursos de uma rede IP**

As redes actuais podem-se caracterizar como o conjunto formado por sistemas computacionais possuidores de ligações entre si. Os recursos de rede serão todas as propriedades que possam influenciar o fluxo da informação entre o produtor, consumidor e possíveis intermediários que possam existir entre eles, para esse fluxo de informação.

As características principais das ligações são a capacidade, comprimento e atenuação. A capacidade determina a quantidade de informação que se pode transmitir num determinado intervalo de tempo; apresenta-se como a característica mais relevante na gestão das ligações.

Devido ao facto de a velocidade de propagação não ser infinita, o comprimento da ligação vai necessariamente impor um determinado atraso temporal à comunicação de dados entre as entidades mediadas pela ligação; normalmente o atraso induzido pela propagação é frequentemente desprezado.

A atenuação dos sinais propagados implica que exista a necessidade de se regenerar o sinal, para que este se mantenha superior a um limiar que permita a sua recepção em níveis aceitáveis. Esta característica obriga a que o planeamento da rede preveja elementos separados por distâncias que não sejam afectadas pela atenuação. Na necessidade de ter distâncias superiores são utilizados dispositivos regeneradores do sinal, para garantir que os sinais chegam ao destino nas condições desejáveis [POZAR].

No que toca às entidades que processam as mensagens que circulam na rede, os recursos traduzem-se em elementos como a capacidade de recepção, capacidade de processamento, capacidade de armazenamento, etc. Muitos destes elementos manifestam-se como constrangimentos, características e não como parâmetros susceptíveis a gestão. Desta forma é preciso efectuar um planeamento adequado que se sirva destes elementos para tomar decisões e não para modificação ou manipulação directa.

As entidades mais susceptíveis à gestão são os *routers*, uma vez que é através deles que se efectua o controlo de acesso aos recursos nas várias zonas. Estes elementos apresentam características que é necessário ter em conta nos modelos de gestão tais como o tamanho das suas filas, escalonamento, capacidade de processamento, entre outras.

O tamanho das filas é um parâmetro de extrema importância, uma vez que dita a quantidade de pacotes que podem ficar armazenados no *router* à espera de serem servidos e, indirectamente o tempo máximo associado a essa espera: filas muito grandes implicam que, em situações de alta utilização, os pacotes vão preencher as filas e conseqüentemente ter de esperar que os pacotes que estão à frente na fila sejam servidos, o que resulta em atraso dos pacotes. Filas pequenas, por sua vez, resultam em perda de pacotes, de acordo com a política do *router*, que poderá descartar do início da fila, do fim, ou de uma posição aleatória.

Como existem diferenças na taxa dos vários fluxos que partilham a mesma fila, alguns pacotes encontrarão a fila vazia ou com poucos pacotes, enquanto que outros a encontrarão cheia, o que resulta numa variação do atraso que os pacotes sofrem [PWTFMPSPO].

O tamanho dos pacotes também influencia o tempo de serviço dos pacotes, na medida em que um pacote pequeno é processado mais rapidamente do que um pacote maior. O tamanho dos pacotes tem ainda impacto na forma como as filas dos *routers* são ocupadas pelos pacotes: os pacotes mais pequenos têm maior probabilidade de serem admitidos na fila [PWTFMPSPO]. Este facto verifica-se para *routers* que não tenham activas políticas de descarte para pacotes já contidos nas suas filas.

## 2.2 Qualidade de Serviço

De acordo com o ITU, um serviço (em ambientes IP) é definido como a capacidade de troca de informação através de um meio de telecomunicações, disponibilizado a um cliente, por um operador de telecomunicações. Esta troca serve-se do protocolo IP para realizar transferências, controlo e funcionalidades de gestão, sobre a informação do utilizador. Esta prestação encontra-se descrita no contracto de prestação de serviço (*Service Level Agreement – SLA*). Esta definição é aceite, de uma forma generalizada, no contexto das telecomunicações.

Por sua vez, definição de qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*) não é tão consensual. Para os organismos ITU e ETSI, qualidade de serviço é o conjunto de efeitos provocados pelo desempenho de um determinado serviço, e o seu impacto na satisfação do utente desse mesmo serviço [ITU E800] [ETSI ETR003].

O IETF apresenta uma perspectiva diferente, associando a qualidade de serviço às características intrínsecas da rede. Desta forma a QoS será o conjunto de requisitos que a rede deverá preencher, aquando do transporte de fluxos, enquadrados no fornecimento de um determinado serviço [ITU G1000]. Esta definição possui um paralelo no seio quer do ITU, quer do ETSI, através do conceito de desempenho de rede (*Network Performance*).

A grande diversidade de requisitos por parte dos serviços dá origem a que mecanismos de diferenciação de serviços estejam frequentemente associados à expressão qualidade de serviço, nomeadamente através da existência de várias classes de serviço, que permitem que fluxos com requisitos particulares, sejam marcados com identificadores de classes que prevejam o cumprimento desses requisitos concretos.

Uma rede que trata todos os fluxos da mesma forma, denomina-se rede de melhor esforço (BE – *Best Effort*) e caracteriza-se por apresentar más prestações de serviço quando no limite de carga, quando fluxos com necessidades mais exigentes, são forçados a coexistirem e partilharem igualmente os recursos com fluxos com necessidades mais flexíveis.

Um factor muitas vezes associado à qualidade de serviço é a qualidade da experiência proporcionada ao utilizador. Ao contrário de métricas, como por exemplo, o atraso que os pacotes sofrem numa rede, a qualidade da experiência não se baseia apenas no processo de comunicação, mas nos resultados que a forma como se efectuou esse processo provocou na acção que estava a ser levada a cabo pelo utilizador, dando origem a um factor de satisfação por parte deste, qualitativamente classificável.

Este tipo de reacções provocadas nos utilizadores são frequente alvo de estudos estatísticos que visam quantificar e tabelar estas reacções. Desta forma, é possível extrapolar a satisfação do utilizador e efectuar ajustes, sem necessitar da intervenção directa do utilizador. Estes processos permitem reduzir a ambiguidade das opiniões, dando ênfase às características que podem ser controladas.

### **2.3 Mecanismos principais para suporte de Qualidade de Serviço**

Nesta secção são apresentados os parâmetros de Qualidade de serviço, acordos de qualidade de serviço entre entidades, e os mecanismos básicos de suporte de Qualidade de Serviço.

### 2.3.1 Parâmetros de QoS

Existem muitas formas de especificar níveis de qualidade de serviço, seja por meio de parâmetros objectivos, tais como parâmetros baseados em propriedades dos elementos da rede, seja por meio de parâmetros subjectivos, como por exemplo a maneira como o consumidor percebe o serviço.

Apesar dos parâmetros subjectivos serem de extrema importância, são frequentemente utilizados de uma forma indirecta, como base para a regulação dos modelos que utilizam parâmetros objectivos. Um exemplo deste tipo de mecanismos é o PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) [ITU P862], onde valores numéricos ilustrativos da qualidade de som, são atribuídos de uma forma automatizada, a graus de satisfação caracterizados por um utilizador de um sistema telefónico; o que possibilita a capacidade de associar características mensuráveis, a opiniões subjectivas traduzidas por grupos de utilizadores quando sujeitos às referidas características de som.

No âmbito deste trabalho, foi escolhido um subconjunto de parâmetros do universo constante da recomendação Y.1540 [ITU Y1540] definida pelo ITU-T (*Standards For Telecommunications Sector of The International Telecommunication Union*) [ITUT]:

Nome do Parâmetro	Descrição
IPER (IP packet error ratio)	Rácio do número de pacotes recebidos com erro pela soma de todos os pacotes recebidos (com e sem erro)
IPTD (IP packet transfer delay)	Atraso contabilizado no transporte de pacotes com e sem erro, ao longo de um percurso que pode ser composto por múltiplas ligações
IPDV (inter-packet delay variation)	Varição do atraso sofrido por pacotes referentes ao mesmo fluxo
IPLR (IP packet loss ratio)	Rácio do número de pacotes perdidos pelo número de pacotes transmitidos

**Tabela 1 – Parâmetros de QoS definidos pelo ITU-T**

Esta escolha prende-se com o facto de serem os parâmetros típicos, utilizados nos protocolos existentes, para sinalização da reserva de recursos. O efeito destes parâmetros no desempenho dos serviços e aplicações encontra-se também bastante estudado e referenciado, nomeadamente na recomendação Y.1541 [ITU Y1541].

Diferentes serviços pressupõem diferente controlo deste tipo de parâmetros, sendo que existem serviços como o *Voice over IP* (VoIP) que não tolera atrasos ou variações no atraso; ou como o *Video on Demand* (VoD), que não é muito afectado quer por atrasos quer pelo *jitter* (devido aos mecanismos de *buffering*). Esta variedade de comportamentos justifica a realização de inúmeros estudos

com o objectivo de conhecer os limiares para os parâmetros de QoS, em que é possível prestar os serviços, com uma boa satisfação por parte do utilizador.

Um exemplo ilustrativo deste facto pode ser consultado na recomendação Y.1541 [ITU Y1541] sob a forma de uma tabela com a taxa de perdas/erro aceitáveis para televisão digital:

Perfil (bitrate típico)	Erros de desempenho		
	1 por cada 10 dias	1 por cada dia	10 por cada dia
Contribuição (270 Mbit/s)	$4 \times 10^{-11}$	$4 \times 10^{-10}$	$4 \times 10^{-9}$
Distribuição primária (40 Mbit/s)	$3 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-8}$
Distribuição no acesso (3 Mbit/s)	$4 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-7}$

**Tabela 2 – Taxa de perdas / erros máxima recomendada, para televisão digital**

Como se pode verificar, por vezes o mesmo tipo de serviço possui subcategorias com necessidades distintas. Até mesmo concentrando a atenção em apenas um dos parâmetros de QoS, se pode verificar que existem várias categorias com requisitos distintos.

Na Tabela 3 podemos examinar requisitos típicos para alguns serviços populares [MUSEMA1.3]:

Serviço	Atraso (ms)	Jitter (ms)	Perdas
VoIP	100	20	$1 \times 10^{-3}$
Jogos multiplayer	50	1	$1 \times 10^{-5}$
Video conferência	150	10	$1 \times 10^{-3}$
IPTV	400	-	$1 \times 10^{-3}$

**Tabela 3 – Valores de QoS máximos recomendados para alguns serviços**

### 2.3.2 Service Level Agreements (SLAs)

Um SLA apresenta-se como um acordo formal negociado e aceite entre duas entidades; nele constam os termos de serviço a ser prestado, quais as condições em que o é, bem como as garantias e responsabilidades associadas. Outras matérias podem fazer parte dos SLAs, transformando este tipo de informação num contentor de vários itens não necessariamente técnicos; por este motivo existe outro tipo de informação, geralmente contido num SLA, onde se podem encontrar as especificações técnicas associadas aos itens não técnicos do SLA; o seu nome é *Service-Level Specification (SLS)*

A verificação dos termos acordados pode ser realizada através da inspecção e processamento dos parâmetros de QoS, uma vez que estes contêm elementos objectivos e mensuráveis, que se adequam na perfeição ao processo de verificação da qualidade do serviço prestado; é este um dos princípios que

sustenta as relações contratuais tanto entre operadores, como entre o operadores e respectivos clientes.

Uma rede de próxima geração deverá ainda possuir mecanismos de armazenamento de elementos que possam constituir prova dos serviços prestados, para que ambas as partes envolvidas no contrato possam defender-se, ou denunciar incumprimentos dos termos acordados no SLA, por parte do outro outorgante.

Actualmente, a realidade dos SLAs é profundamente estática, no entanto encontram-se em discussão e forte investigação, mecanismos que possibilitem o estabelecimento, modificação e destruição de SLAs de uma forma dinâmica.

Estes mecanismos apresentam grande utilidade em ambientes de composição de serviços [ASSCWQM], onde prestadores de serviços podem efectuar composição com outros prestadores, de uma forma imediata, sem necessidade de ligações contratuais *offline*; outra situação bastante útil é a negociação de SLAs para situações em que um utilizador UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) está fora da sua rede origem – nestes casos seria possível negociar imediatamente a disponibilização de serviço ao cliente [RAJIVC] nessa rede estrangeira.

### **2.3.3 Classificação de pacotes**

Nas redes actuais, o protocolo agregador é o Protocolo Internet (IP). Apesar de actualmente ser a versão 4, a que se encontra em utilização massiva na Internet; a especificação da versão 6 (IPv6) foi recentemente dada como fechada pelo IETF (*Intenational Engeneering Task Force*)[IETF]. Esta nova versão vem procurar solucionar um conjunto de limitações e problemas que atormentavam a versão anterior (IPv4), nomeadamente no que toca ao espaço de endereçamento, suporte a autoconfiguração, multicast, maior eficiência e simplicidade, entre outros.

O cabeçalho IPv6 contém um campo *flow label* que permite localizar a informação contida no *5-tuple* (conjunto de 5 parâmetros utilizado no IPv4 para identificar fluxos {endereço IP origem, endereço IP destino, porto origem, porto destino, protocolo}) todo no cabeçalho IP. Anteriormente alguns destes parâmetros não se encontravam no cabeçalho o que levantava questões sérias, devido à sua indisponibilidade quando em presença de encriptação ou fragmentação. Para além destas questões, o processo de procura desta informação, quando disponível, introduzia uma grande ineficiência, uma vez que a informação estaria depois dos cabeçalhos extra, adicionados ao cabeçalho IP, que devido à sua natureza variável, obrigariam a uma pesquisa mais complexa e demorada.

Em termos de QoS, o campo *traffic class* mantém a abordagem utilizada no IPv4 no seu campo TOS – *Type Of Service*, onde se pretendia disponibilizar informação que permitisse tratamento diferenciado. Este campo está ainda numa fase de especificação, uma vez que se encontram em investigação diversos mecanismos para o campo TOS do IPv4, cujos resultados se pretendem integrar na especificação do *traffic class*.

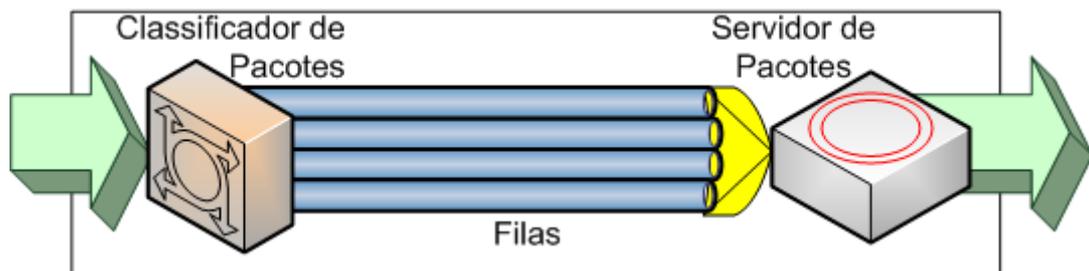
O preenchimento destes campos constitui a marcação e classificação dos pacotes, e permite aos elementos de rede analisarem o pacote e tomar decisões relativas ao seu tratamento.

### 2.3.4 Escalonamento de pacotes

O escalonamento é o processo pelo qual os elementos de rede decidem a forma como os pacotes são tratados, mais especificamente, decidem a ordem pela qual os pacotes devem ser enviados. Esta decisão é levada a cabo pelo próprio elemento, baseada em informação proveniente de uma política ou algoritmo, que pode ser ou não complementada com informação adicional de estado.

Existem diversas disciplinas de escalonamento, cujo propósito é potenciar ou minimizar características associadas à forma como os pacotes chegam aos elementos de rede que os irão tratar. Estes factores podem ser tão variados como a eficiência de processamento, quantidade de pacotes servidos, justiça no atendimento, prioridades, complexidade computacional associada, qualidade de serviço, entre outros.

Num processo de escalonamento podem-se distinguir vários elementos: o classificador de pacotes, as filas, e o servidor de pacotes.



**Figura 1 – Processo de escalonamento**

O classificador de pacotes é responsável por colocar os pacotes nas diferentes filas que possam existir; a maneira como os distribui, a frequência com que o faz e ainda a política com que descarta esses mesmos pacotes, fazem parte integrante do processo de escalonamento.

As filas são outro factor de extrema importância, nomeadamente o seu número, a sua capacidade e ainda a forma como são geridos os pacotes que estão no interior das mesmas. A forma como é realizado o atendimento às filas é também uma das etapas de destaque no processo de escalonamento.

No extremo oposto ao classificador de pacotes, encontra-se o servidor de pacotes que irá processar os pacotes. O tempo de serviço despendido pelo servidor de pacotes, em conjunção com a forma como os pacotes são atendidos das várias filas, são os factores mais importantes desta entidade terminal.

É ainda no servidor de pacotes que são realizadas outras funcionalidades de grande importância para a disponibilização de qualidade de serviço, tais como o policiamento, medição, etc...

### **2.3.5 Marcação, formatação e policiamento**

De forma a que seja possível tratar distintamente múltiplos tipos de tráfego, é necessário que os elementos de rede sejam capazes de distinguir entre estes vários tipos. O processo de marcação de pacotes consiste em preencher campos específicos de cabeçalhos protocolares com dados de interesse, consoante o tipo de distinção que se pretende efectuar. Esses cabeçalhos não têm necessariamente de existir, sendo frequente adicionarem-se cabeçalhos e/ou extensões a cabeçalhos existentes, para providenciar estas funcionalidades extra.

A adição de um novo cabeçalho é usualmente denominada de encapsulamento, e é provavelmente a forma mais comum de marcação de um pacote de informação.

Para os mecanismos de qualidade de serviço, a marcação é de extrema importância, uma vez que permite sinalizar aspectos que irão levar a tratamento diferente para pacotes que apresentem códigos distintos.

Ao atravessar os vários elementos, o tráfego pode manter as suas características originais, ou pode ser alvo de formatação.

A formatação é uma forma de manipular e modificar as características do tráfego, de maneira a que esse tráfego fique em conformidade com o comportamento que se configurou como desejável para aquele troço de rede. O mecanismo de formatação é efectuado atrasando pacotes que verifiquem determinadas características, dadas como indesejáveis, modificando a cadência destes.

Este tipo de acção permite limitar o débito do fluxo formatado, aumentar a largura de banda disponível e ainda baixar a latência de ligação. É geralmente aplicada por elementos nas extremidades da rede, com o objectivo de garantir que o tráfego que entra na rede não possui as características indesejáveis previamente mencionadas; a formatação pode também ocorrer nos terminais.

A verificação de que determinado tráfego possui um conjunto de características é levada a cabo pela função de policiamento. Esta função é de grande importância uma vez que é ela que permite impedir que tráfego fora do perfil esperado seja introduzido na rede. Este perfil tanto pode ser a nível do que o utilizador do terminal tem contratualizado com o prestador de serviço, como até mesmo do próprio perfil de funcionamento da rede.

Para levar a cabo a verificação se o tráfego está dentro ou fora do perfil são necessários dados que permitam catalogar o tipo de tráfego; estes dados são denominados de medidas de tráfego e são um subconjunto da informação fornecida pelo processo de monitorização, desenvolvido na secção seguinte.

### 2.3.6 Monitorização

A monitorização pode ser definida como o processo de observação do comportamento de fluxos, ligações, estado de elementos, ou mesmo de uma fonte de tráfego. Este processo assenta na recolha de dados que permitam tirar conclusões relativas aos comportamentos de interesse. Estes dados têm o nome de métricas de desempenho.

Existem dois organismos que procuram especificar métricas para se efectuarem medições nas redes de computadores. Tanto o CAIDA [CAIDAMWG] como o IETF [IETFIPPM] especificaram um conjunto de métricas, que são utilizados pelas plataformas de monitorização, na aquisição de informação do estado da rede (ligações, fluxos, etc...).

CAIDA	IETF
Latência	Conectividade
Perda de pacotes	Atraso unidireccional
Taxa de escoamento de pacotes	Perda de pacotes unidireccional
Utilização de link	Atraso de ida e volta
Disponibilidade	Varição de atraso
	Capacidade de transferência em bruto

**Tabela 4 - Métricas propostas por CAIDA e IETF**

A aplicabilidade deste conjunto de métricas é dependente da situação que se pretende analisar, sendo que se podem identificar várias situações de interesse, quando se abordam temas como a qualidade de serviço. Estas métricas serão analisadas na secção 3.2.

O processo de medição pode ser efectuado através de duas metodologias possíveis: as medições passivas e as medições activas.

Num processo de medição passivo, o tráfego existente na rede é observado, contabilizado e analisado, de forma a obter os valores para as métricas. Este processo não perturba a rede, contudo está profundamente limitado, dado que não é possível obter informação relativa a tipos de tráfego, bem como a percursos que não estejam a ser utilizados para o curso do tráfego.

Para solucionar esta limitação existe outro processo de medição, que se baseia no envio e análise de pacotes de prova que são enviados de uma origem à escolha, até um destino também à escolha. Os inconvenientes deste método são a utilização de recursos da rede por parte do tráfego diagnóstico para obter os dados necessários ao cálculo das métricas, o que possui um efeito negativo duplo. Por um lado, o tráfego em curso é afectado pelos pacotes de prova e a resposta da rede pode não ser a verdadeira, uma vez que os pacotes de prova não fazem parte do sistema que se quer medir; por outro lado, este método requer a existência de elementos capazes de enviar pacotes de prova em todos os locais que se pretendam analisar. A escolha de cada método depende da situação e cenário em estudo. A Tabela 5 apresenta informação sobre possíveis medidas e suas características.

	<b>Medições Activas</b>	<b>Medições Passivas</b>
<b>Configuração</b>	Multi-ponto	Ponto-a-ponto e multi-ponto
<b>Volume de dados</b>	Baixo	Alto
<b>Carga extra na rede</b>	Tráfego extra	Nenhuma, se usado um <i>splitter</i>
<b>Utilização</b>	Atraso, perdas, disponibilidade	Escoamento, padrões, detecção
<b>Processamento</b>	Baixo a moderado	Alto

**Tabela 5 - Medições activas vs passivas**

Ambos os métodos de aquisição de medidas podem ser utilizados em alguns métodos de controlo de admissão que serão descritos na secção 2.3.7.4.1.

As funcionalidades de monitorização são geralmente da responsabilidade de plataformas dedicadas, em arquitecturas centralizadas, onde se podem distinguir dois tipos de entidade: a entidade central de monitorização e o elemento medidor.

As funções da entidade central de monitorização são servir de interface aos elementos de rede que possam necessitar de informação sobre medidas, providenciando um nível de abstracção que evite a necessidade de estes elementos conhecerem a especificidade dos elementos medidores. É também da responsabilidade da unidade central efectuar a configuração, coordenação, aquisição e tratamento dos resultados dos elementos medidores.

É neste ponto central que se pode efectuar o cruzamento dos resultados facultados pelos elementos medidores, sendo assim possível disponibilizar métricas com alguma complexidade, aos elementos consumidores.

A principal funcionalidade de um elemento medidor é, como o seu nome indica, realizar medições de parâmetros que possam ser úteis à entidade central de monitorização. Estas medições tomam a forma de ocupação das filas das interfaces dos *routers*, parâmetros de QoS para os fluxos que estão a atravessar o *router* e para os que fluem numa determinada ligação. Podem ainda requerer a geração e envio de pacotes de prova, para outros elementos medidores, por forma a obter dados não disponíveis por meio de análise passiva.

A informação produzida pelos elementos medidores permite a geração de relatórios que contêm informações de carácter geográfico específico e informação relativa a percursos com uma ou múltiplas ligações.

Estes relatórios possuem uma etiqueta temporal e podem ser compostos por resultados agregados ou por métricas singulares, consoante o requisito imposto pelas entidades consumidoras das métricas. Isto implica que a frequência de comunicação e o grau de agregação sejam parâmetros que a plataforma de medidas disponibilize como configuráveis.

Os resultados de monitorização podem ser consumidos localmente, como é o caso da informação gerada pelos *routers* durante a observação do tráfego que os atravessa; é através desta informação que é verificada a concordância com o perfil de tráfego esperado, para os fluxos analisados.

Esta informação resultante o processo de monitorização permite assim à rede e ao próprio terminal obter dados comprovativos dos níveis de serviço que estão a ser prestados.

### **2.3.7 Controlo de admissão**

Controlo de admissão é o conjunto de acções operadas sobre fluxos de tráfego aquando da tentativa destes, de entrada na rede. Estas acções resultam na permissão ou rejeição da admissão do fluxo. Para poder ser avaliado, o fluxo tem de anunciar quais as suas características ao sistema que está a realizar o controlo de admissão. Este processo é denominado de sinalização e existem variadas formas e protocolos que permitem obter as características do fluxo com maior ou menor detalhe e exactidão.

Existem múltiplos métodos de realizar controlo de admissão, bem como diversas formas de organização das entidades de decisão. No que toca à organização, existem dois modelos fundamentais: o centralizado e o distribuído.

Os métodos distribuídos podem contemplar filosofias de unidade central com delegação de tarefas de admissão em entidades periféricas, ou puramente distribuídas onde os elementos decisores são autônomos. Este tipo de abordagem (puramente distribuída) requer menor complexidade computacional por parte dos equipamentos decisores e permitem uma maior celeridade do processo de admissão, contudo a ausência de sincronização e entidade coordenadora ou central, dificulta a gestão das ligações fim-a-fim e a estabilidade global da rede.

Por sua vez, os métodos centralizados permitem realizar uma gestão que tenha em consideração o impacto das várias aceitações, nos vários pontos da rede. Desta forma é possível ter uma cooperação virtual entre os pontos de entrada na rede, ao invés do método puramente distribuído, onde os elementos podem não estar a trabalhar em conjunto. Estes métodos têm vários inconvenientes graves, tais como a elevada complexidade computacional que requerem, bem como a demora que introduzem no processo de admissão.

A escalabilidade é também outra questão de grande importância, onde os métodos centralizados se mostram mais problemáticos do que os distribuídos.

O modelo centralizado com delegação de funcionalidades é uma abordagem de certa forma mista, uma vez que acaba por combinar as vantagens de ambos os modelos, minimizando alguns dos inconvenientes. É num modelo deste tipo que assenta a proposta desta dissertação.

Os métodos de controlo de admissão estão ainda profundamente ligados à conservatividade como se gerem os recursos, verificando-se abordagens deterministas, onde os recursos disponíveis são inteiramente atribuídos aos fluxos que os reservam; no extremo oposto temos os métodos que exploram as leis dos grandes números e a multiplexagem estatística [STATMUX].

Para além da forma como se gerem os recursos, existem também várias alternativas da maneira como as entidades decisoras operam em termos de funcionamento; uma possível forma de agrupamento, bastante utilizada para catalogar este tipo de operações é a forma como é realizada a actualização de comportamento. Surgem assim os mecanismos estáticos e dinâmicos.

Os mecanismos decisores fazem ainda uso de diferentes tipos de informação: parâmetros, medidas, experiência, aprendizagem, etc...

A admissão de fluxos pode ainda ter em conta a capacidade das ligações envolvidas; a utilização parcial ou integral dessas ligações poderá ter associados mecanismos de aplicação de *overbooking*.

### 2.3.7.1 *Overbooking*

Desde a sua utilização plena de sucesso na aeronáutica, passando pela hotelaria ou até na indústria de transportes, o conceito de *overbooking* tem vindo a ganhar importância com o decorrer dos tempos.

*Overbooking* pode ser definido como a disponibilização de um serviço para além da capacidade que possui.

No plano das comunicações este conceito apresenta potencialidades bastante atractivas, uma vez que o processo de reserva de recursos é tremendamente conservativo; as fontes raramente utilizam a totalidade dos recursos reservados e quando o fazem, fazem-no por curtos períodos de tempo. Esta falta de exactidão no anúncio dos recursos que se pretendem reservar indicia que existe bastante espaço para a actuação dos mecanismos que exploram o *overbooking*.

Num processo normal de reserva de recursos a fonte de tráfego anuncia à rede o comportamento que espera ter, sob a forma de descritores de tráfego. Esta descrição pode ser realizada de várias maneiras, permitindo ao receptor do pedido criar um perfil esperado para o tráfego sinalizado. O comportamento da aplicação é geralmente inconstante e pouco previsível, o que culmina em anúncios de comportamento bastante exagerados [ATOR].

Um processo que permita *overbooking* é geralmente controlado por um coeficiente ou factor multiplicativo, que exprime o rácio entre o valor que se pretende disponibilizar, e o valor efectivamente disponível:

$$\phi = \frac{\text{Valor}_{\text{ que se pretende disponibilizar}}}{\text{Valor}_{\text{ disponível}}}$$

**Equação 1 - Coeficiente de *overbooking***

Para se verificar *overbooking*, o valor auxiliar terá de ser superior ao valor real, o que resulta num factor superior a 1.

### 2.3.7.2 *Mecanismos estáticos*

Os mecanismos estáticos são aqueles cujo funcionamento é autónomo e estanque; são programados para agir de uma determinada forma e posteriormente não se modificam, independentemente dos resultados, ou problemas que possam surgir.

#### **2.3.7.2.1 Controlo de admissão baseado em parâmetros (PBAC) puro**

O controlo de admissão efectuado com base em parâmetros, é a forma mais imediata de controlo de admissão estática. Este método caracteriza-se pela sua conservatividade, uma vez que se socorre de descritores de tráfego declarados antes do fluxo ser admitido na rede, por meio de sinalização específica.

Ao ser admitido na rede, é garantido ao fluxo que os recursos necessários à sua correcta transmissão vão ser alocados, em regime de exclusividade.

Uma alocação exclusiva de recursos aos fluxos, apresenta níveis de utilização de rede bastante mais baixos do que seria desejável, devido à forma conservativa e pouco exacta como as fontes anunciam o seu comportamento. É por este motivo o método que apresenta melhor desempenho quando são requeridas à rede, níveis de qualidade de serviço mais exigentes, como se pode verificar em [PBACFDSN] e [EACMFBB].

Na óptica do operador, o ideal é ter a rede com o maior nível de ocupação possível, mantendo os níveis de qualidade de serviço que os seus utilizadores possam requerer, pelo que este método não rentabiliza eficazmente os recursos disponíveis [CPMBAC]. Um melhoramento que se pode aplicar a este tipo de mecanismo é permitir que a gestão dos recursos contemple um factor de *overbooking*, porém este mecanismo é 'cego', já que não possui *feedback* do verdadeiro estado da rede, no que toca aos parâmetros de QoS e ao estado das ligações e das outras entidades, o que poderá levar à degradação do serviço proporcionado aos clientes.

Na tentativa de suprimir esta ausência de capacidade de avaliação das políticas que estejam a ser aplicadas, surgem outros mecanismos, receptivos a outro tipo de informação, como a de monitorização ou a de lucro potencial.

#### **2.3.7.3 Controlo de admissão baseado em programação neuro-dinâmica**

Os mecanismos baseados em programação neuro-dinâmica, apresentam-se como um melhoramento dos baseados em parâmetros puros; neste tipo de mecanismos, são utilizados algoritmos de pesagem e valorização das decisões tomadas.

O objectivo do mecanismo passa então a ser a maximização de um factor auxiliar, permitindo introduzir no processo de admissão, questões como valorização do retorno proporcionado pelo atendimento de um cliente de uma certa classe.

Em [NDPAAC] mostra-se que é possível aumentar a utilização de rede privilegiando os utilizadores que acedessem a serviços que fizessem uso das classes que proporcionassem maior lucro ao operador.

#### **2.3.7.4 Mecanismos dinâmicos**

Os mecanismos dinâmicos caracterizam-se pela sua capacidade de ajuste a situações que ocorram. Estas situações podem ser resultados de análise interna, decisões operadas sobre informação recebida de outras entidades e ainda acções resultantes de operações de administração externa.

##### **2.3.7.4.1 Controlo de admissão baseado em medidas (MBAC)**

Um sistema baseado em medidas, alimenta-se de informação colhida em tempo-real, do estado da rede (*routers* e ligações) para tomar as decisões de admissão. De novo são utilizados os descritores de tráfego (conservativos) que desta vez não causam problemas tão pronunciados de ineficiência, característicos do controlo de admissão baseado em parâmetros, uma vez que através da plataforma de medidas é possível obter valores da real utilização dos recursos reservados [EACAIAP], permitindo um ajuste do comportamento, à realidade medida.

Desta forma é possível ter uma noção mais exacta dos recursos efectivamente usados face aos reservados. A exploração destes recursos não utilizados denomina-se *overbooking*, que passa a ter uma viabilidade mais forte, com este tipo de mecanismos, permitindo assim aumentar a taxa de utilização da rede.

Este tipo de sistema permite um aumento da utilização de rede [SMBACFDS] [FACFDSAN] quando comparado com os sistemas estáticos, mas sofre de problemas derivados do dinamismo dos fluxos. Quando aplicações produtoras de fluxos pouco constantes injectam tráfego na rede, vão provocar oscilações no tráfego medido, que por sua vez permite que sejam admitidos fluxos em ocasiões em que temporariamente a rede estaria menos activa. Esta admissão pode revelar-se prejudicial, caso um grande número de aplicações injecte tráfego em simultâneo, saturando a rede.

Desta forma, é exigido a este tipo de algoritmos, uma constante actualização e processamento de informação relativa ao estado da rede. Esta natureza intensiva obriga a que os intervalos de medição e refrescamento sejam muito baixos, o que coloca dificuldades ao funcionamento das plataformas de monitorização de suporte. As qualidades das tomadas de decisão estão então ligadas à capacidade de resposta da plataforma de monitorização.

Os algoritmos de controlo de admissão baseados em medidas devem então operar com algum grau de conservatividade, dada a sua susceptibilidade à dinâmica de fluxos [CPMBAC]. Deverão ainda ser robustos o suficiente para conseguir reagir às interacções estatísticas causadas por diversos tipos de fluxos com taxas de transmissão diferentes, períodos de rajada imprevisíveis, escalas

temporais distintas no processamento em vários tipos de elementos, entre outros[MBCAC].

#### **2.3.7.4.2 Controlo de admissão baseado em aprendizagem**

Os mecanismos de admissão com base em elementos de aprendizagem caracterizam-se pela procura de minorar a necessidade da posse de dados com características tempo-real para a tomada das decisões de admissão. Em [LAANCAC] foi testado um algoritmo de aprendizagem com base num estimador estocástico, que permitiu obter ganhos estatísticos elevados, requerendo baixo poder computacional e de capacidade de armazenamento.

#### **2.3.7.4.3 Controlo de admissão baseado em experiência (EBAC)**

Os sistemas de controlo de admissão baseados em experiência apresentam-se como uma evolução dos baseados em medidas, uma vez que também fazem uso de uma plataforma de medidas para obter a real utilização dos recursos reservados. Estes dados são utilizados para calcular um factor de *overbooking* que é função dos valores passados e que se relaciona com a capacidade já aceite, via descritores referenciados em termos de pico e com a capacidade em termos de pico, anunciada pela fonte que pretende admissão [EXPBAC].

Por este motivo os sistemas baseados em experiência são classificados como sistemas de medidas com memória [EBACASACM], uma vez que o seu comportamento é ditado não só pelo presente, mas também pelo passado.

A sensibilidade dos mecanismos baseados em medidas é atenuada uma vez que os valores medidos fazem parte do mecanismo de memória, e não servem como factor unilateral de condicionamento da admissão [EBIPOTC].

A gestão da memória do sistema apresenta-se como o factor problemático uma vez que é ele que vai ditar a sensibilidade e velocidade de reacção do algoritmo às variações de tráfego. Diminuições de tráfego não são problemáticas, no entanto aumentos traduzem-se em situações de risco, devido à necessidade de actualização do factor de *overbooking* e à maneira como a rede vai ter de lidar com os fluxos já admitidos.

Foram desenvolvidos alguns estudos de exploração do EBAC, utilizando o conhecimento do tipo específico de tráfego para melhorar a performance do mecanismo de *overbooking* [EBACWTSO][EBTTA], verificando-se resultados bastante positivos. A capacidade de adaptação e e robustez foram também já alvo de testes, simulando condições de rede bastante dinâmicas e com transições rápidas de estados [EBIPOTC].

Alguns investigadores indicam que a migração da tomada de decisão para os *routers*, aliada à manutenção de um registo de comportamento de cada cliente isoladamente, permitiriam calcular e aplicar os valores óptimos para o factor de overbooking [ATOR], uma vez que as características de grupo, utilizadas para inferir os comportamentos nas ligações não são inteiramente estáticas e repetitivas.

#### 2.3.7.4.4 Controlo de admissão baseado em redes neuronais (NNBCAC)

O problema de optimização dos mecanismos de controlo de admissão, levou ainda a variados estudos da aplicação de modelos baseados em redes neuronais, como é o caso de [ACUMNN] onde as redes são aplicadas segundo uma filosofia modular e hierárquica, para a predição dos resultados de perdas (CLR – Cell Loss Ratio), permitindo aceitar apenas os pedidos que não provoquem valores indesejados de CLR. Em [NNBCAH] foi estimado o atraso e as perdas através de uma rede neuronal pré-treinada com base na análise matemática efectuada sobre um modelo de agendamento. Por sua vez, os autores de [BISDNCNN] recorrem a um mecanismo de predição do comportamento de uma função agregadora dos parâmetros de QoS, auxiliar ao mecanismo de admissão.

O aparecimento de modelos mais avançados de redes neuronais, algoritmos de treino mais eficazes e ainda de *hardware* com maior poder computacional, deixa antever que nos próximos anos, a aplicação de redes neuronais venha a ter aplicação significativa nestes mecanismos.

## 2.4 Arquitecturas IETF para QoS

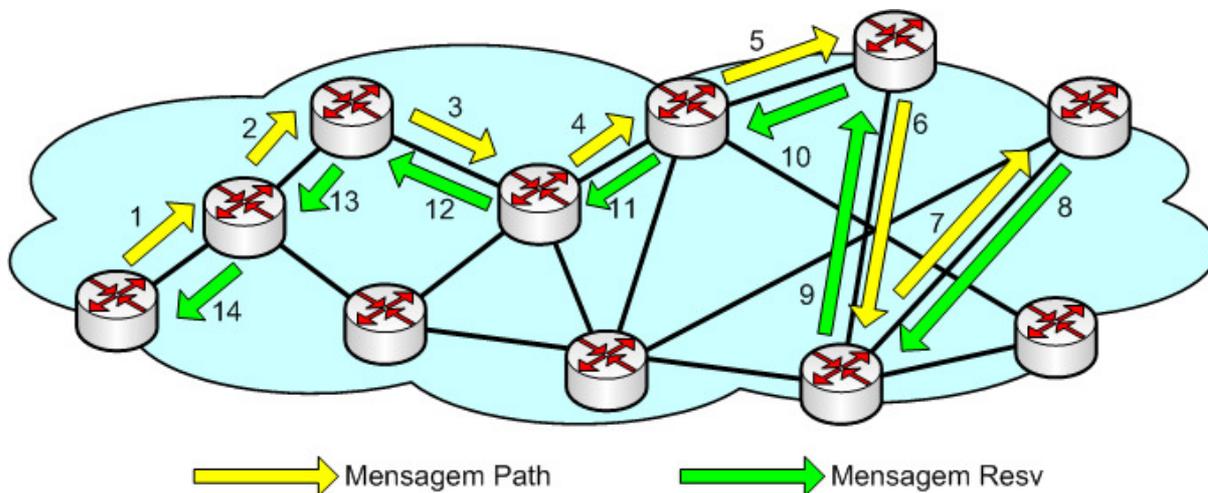
Com o objectivo de providenciar mecanismos intrínsecos de QoS, foram propostos pelo organismo independente IETF, dois modelos de arquitectura: um baseado numa aproximação a fluxos individuais e outro baseado em agregados de fluxos.

### 2.4.1 Intserv

O modelo Intserv – serviços integrados [RFC 1633] foi o primeiro modelo proposto pelo IETF para uma arquitectura de rede com suporte intrínseco de qualidade de serviço. Neste modelo cada fluxo é endereçado e tratado individualmente.

No modelo Intserv, a diferenciação apresenta um nível de granularidade fino; todos os *routers* têm de suportar Intserv e as aplicações que necessitam de garantias de QoS efectuem sinalização explícita para dar a conhecer os seus

requisitos. Esta necessidade motivou o desenvolvimento de um protocolo específico para a reserva de recursos, o RSVP – *Resource reSerVation Protocol* [RSVP], ilustrado na Figura 2.



**Figura 2 – Estabelecimento de reserva por meio de RSVP**

Neste mecanismo de reservas é efectuado um conjunto de anúncios e confirmações, ponto a ponto, ao longo do percurso total que será percorrido pelo fluxo desde a origem até ao destino: as mensagens do tipo *Path* transportam a informação relativa à reserva, anunciando os requisitos da mesma; no percurso inverso são efectivamente accionadas as reservas através de mensagens do tipo *Resv*.

Todos os nós têm de verificar a sua disponibilidade para o pedido, o que implica que existem reservas e manutenção do seu estado em todos os *routers*, para todos os fluxos diferentes que os atravessarem. Este é um factor que se revela problemático quando se considera uma rede de grande dimensão – *routers* das zonas mais centrais teriam de manter estado para números elevadíssimos de reservas, o que é computacionalmente inviável. Por este motivo, o modelo Intserv não é muito popular quando se consideram redes de grande dimensão.

Contrastando com o problema de escalabilidade, a utilização do modelo Intserv em segmentos periféricos da rede é bastante interessante, uma vez que permite um maior nível de granularidade no controlo. A sua aplicabilidade encontra-se assim limitada pela dimensão e complexidade da rede em questão.

#### 2.4.2 Diffserv

Tendo como principal objectivo solucionar o problema da escalabilidade, foi proposto o modelo Diffserv – serviços diferenciados [RFC 2475].

Contrastando com o modelo Intserv, o modelo Diffserv apresenta uma filosofia que se baseia na marcação de pacotes com a classe Diffserv na periferia da rede. Ao passarem por este processo de marcação passam a estar no interior de uma região denominada Diffserv onde os pacotes são tratados com base na classe previamente marcada. Vários fluxos podem então fazer parte da mesma classe, constituindo agregados, diminuindo drasticamente a complexidade associada ao seu processamento, ao contrário do que se verificava no Intserv.

Estão definidos para o modelo Diffserv vários padrões comportamentais (*per-hop behaviours - PHB*), com objectivo de providenciar às aplicações níveis de desempenho expectáveis.

- *Default* PHB, tipicamente associado a tratamento *best-effort* (de melhor esforço).
- *Expedited Forwarding (EF)* PHB [RFC 3246], destinado a tráfego com requisitos de QoS extremamente altos; normalmente é o PHB utilizado pela sinalização. Este tipo de PHB tem de ser dimensionado com algum cuidado, pois pode facilmente perturbar e mesmo inviabilizar os outros PHBs existentes.
- *Assured Forwarding (AF)* PHB [RFC 2957], apresenta-se como o PHB para reservas com requisitos médios. É neste PHB que se costuma verificar o maior número de classes, devido à sua fácil coexistência com os outros tipos de PHB, ao contrário por exemplo do EF.

Este modelo tem uma maior aceitação uma vez que é mais escalável, e menos complexo de implementar e aplicar; contudo apresenta alguns problemas, que têm impedido a sua adopção. A ausência de elementos que policiem a marcação dos pacotes que chegam aos *routers* permite que aplicações maliciosas se possam aproveitar indevidamente dos mecanismos Diffserv; o exemplo mais famoso deste facto é a marcação que o Microsoft Windows 2000 efectuava por defeito aos seus pacotes, com o valor 5 (de um intervalo de 0 a 7), para que estes tivessem um tratamento preferencial, independentemente dos seus requisitos.

### **2.4.3 Modelos mistos de Diffserv e Intserv**

Existem ainda modelos híbridos, onde os dois modelos Intserv e Diffserv são combinados [RFC 2998], ou ainda ideias que se servem de conceitos provenientes de ambos os modelos, para viabilizar arquitecturas de rede mais flexíveis, como é o caso do projecto IST DAIDALOS [DAIDALOS], que se descreverá posteriormente.

O modelo híbrido mais popular [RFC 2998] baseia-se numa arquitectura de redes de core Diffserv, cercadas por redes de acesso que implementam o modelo Intserv.

#### **2.4.4 Controlo de admissão em Diffserv – Bandwidth Brokers**

As redes que implementam o modelo Diffserv, possuem a marcação da classe de serviço no cabeçalho IP. A organização das ligações segundo classes de serviço permite providenciar tratamento diferenciado aos pacotes pertencentes a cada classe e conseqüentemente gerir os recursos utilizados por cada uma das classes.

Estas ligações caracterizam-se por uma capacidade, que terá que ser objecto de análise e contextualização, aquando do momento de decisão da admissão de fluxos que utilizem essas ligações.

É com base nesta necessidade de análise e contextualização que surge o conceito de *bandwidth broker*.

De acordo com o RFC 2638 [RFC2638], um *bandwidth broker* é um elemento de rede cujo papel é gerir a largura de banda das ligações de uma determinada área, tendo em conta políticas e prioridades definidas para essa área, pelo administrador da rede.

A dimensão dessa área não está especificada, pelo que poderão existir vários elementos deste tipo numa rede. A sua distribuição deverá ter em conta factores como a quantidade de fluxos presentes em média nessa área, bem como a quantidade de ligações.

A operação do *bandwidth broker* assenta em dois tipos de acção: controlo de admissão de fluxos e configuração dos elementos de rede. Existem vários métodos de realizar controlo de admissão de fluxos, podendo o *broker* ter o comportamento que melhor se adequa à rede em questão. A configuração dos elementos de rede (*routers*) é efectuada por esta entidade, executando as políticas comportamentais definidas para esses elementos, no seu contexto de rede.

## **2.5 Arquitecturas de redes de próxima geração**

As redes de próxima geração (NGN – *next generation networks*) são redes com capacidade de disponibilizar serviços de comunicação, recorrendo para isso a múltiplas tecnologias de transporte de banda larga, com suporte intrínseco a mecanismos de qualidade de serviço, mobilidade e segurança. Estas redes

devem disponibilizar camadas de abstracção sobre as tecnologias de transporte de forma que os serviços possam ser agnósticos às referidas tecnologias.

Deve ainda ser permitido aos utilizadores das redes de próxima geração, poder efectuar a escolha da forma como acedem à rede e a que operador recorrer para o consumo de um determinado serviço, com total liberdade e mobilidade, de onde também resulta uma provisão ubíqua dos serviços disponibilizados.

As tendências de investigação e desenvolvimento, ao longo dos últimos anos, vão no sentido de que o Protocolo Internet constituirá a base das redes NGN; providenciando a conectividade fim-a-fim, para todas as comunicações. Por este motivo, estas redes são geralmente chamadas simplesmente redes *all-IP*.

Esta convergência é visível nos documentos mais recentes apresentados pelo organismo de normalização ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [ETSI], mais concretamente, pelo grupo TISPAN (*Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networks*) [TISPAN] na descrição da sua visão da arquitectura de rede de próxima geração [TISPAN FARC].

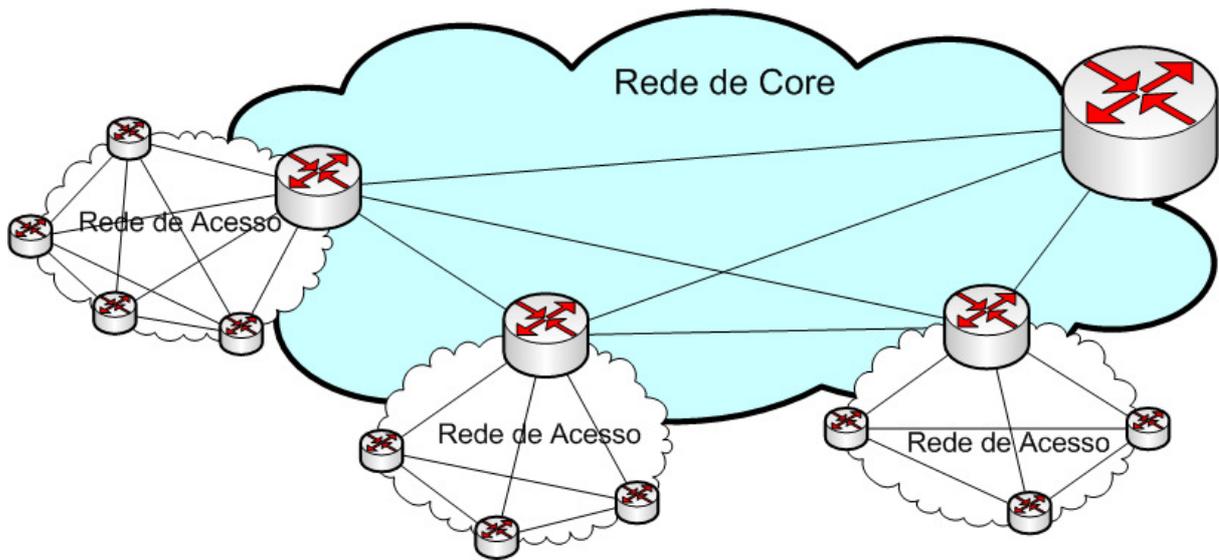
A secção seguinte apresenta a estrutura hierárquica destas redes, e as secções 2.5.2 e 2.5.3 apresentam exemplos de redes de nova geração, em normalização e investigação.

### **2.5.1 Organização hierárquica**

As redes de próxima geração serão constituídas por um conjunto de várias redes, interligadas, que permitirão a interligação de vários sistemas computacionais.

A complexidade associada a esta mistura de redes obriga a uma separação administrativa e hierárquica, que nos conduz aos conceitos de redes de acesso, redes de agregação e distribuição, redes de core e domínios administrativos.

Um domínio administrativo é um bloco completamente funcional, composto por várias redes e *routers*, sob a administração de uma entidade ou grupo. Estes sistemas geralmente possuem propriedades comuns a todo o sistema, como por exemplo o tipo de políticas a seguir no encaminhamento, etc. A criação e registo deste tipo de sistemas pressupõe uma série de procedimentos que se encontram descritos em documentos de referência, tais como o RFC 1930 [RFC 1930]. Existem múltiplas possibilidades organizacionais para os domínios, sendo a mais popular a separação de várias redes de acesso, interligadas por uma rede de core (Figura 3).

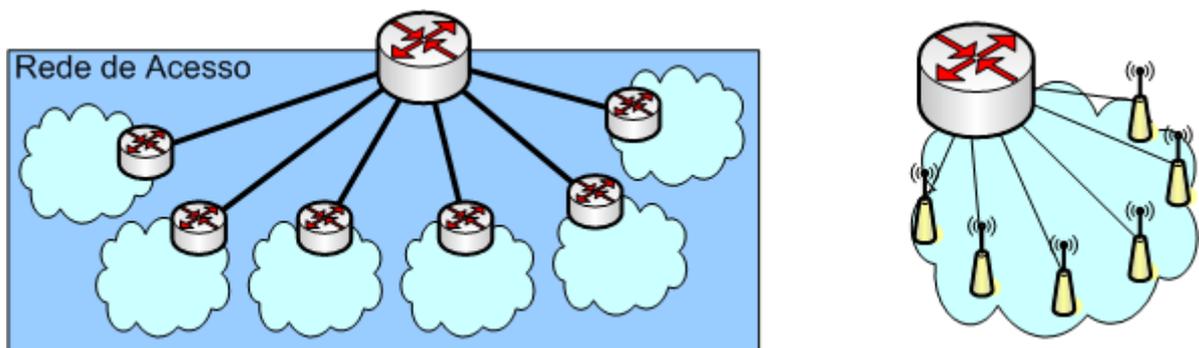


**Figura 3 – Exemplo de organização de um domínio**

As redes de acesso são as regiões mais periféricas do sistema autónomo. Podem decompor-se em zonas de agregação e zonas do subscritor (vulgarmente conhecidas como “ultima milha”). É nestas zonas do subscritor, de morfologia mais capilar, onde os sistemas computacionais se interligam. A diversidade de terminais e da forma como estes acedem à rede, dita que seja neste segmento de rede que se verifique uma maior heterogeneidade de tecnologias.

Nas redes de acesso podem-se encontrar também outras zonas, de agregação, que medeiam os pontos de ligação às outras redes do sistema autónomo (Figura 4); estas zonas de agregação e transporte, como o seu nome indica, são zonas para onde convergem as zonas do subscritor e que efectuam agregação do tráfego proveniente dos vários *routers* de acesso.

As redes de core são as regiões onde, por norma, circulam os agregados de tráfego e onde se verifica o maior grau de agregação; são também o local onde se encontram os pontos de contacto com outros domínios administrativos.



**Figura 4 – Redes de acesso: áreas de possível bottleneck**

Os principais pontos problemáticos a nível de gestão de recursos encontram-se numa primeira fase, na rede de acesso, onde os utilizadores se ligam, onde os recursos são em menor quantidade e onde as tecnologias de suporte são mais heterogéneas, obrigando por vezes a partilhas de meio, como por exemplo nas *wireless LANs*. São também o ponto onde se verificam os primeiros níveis de agregação: numa primeira fase a nível de fluxos, e nas fases posteriores a nível de agregados.

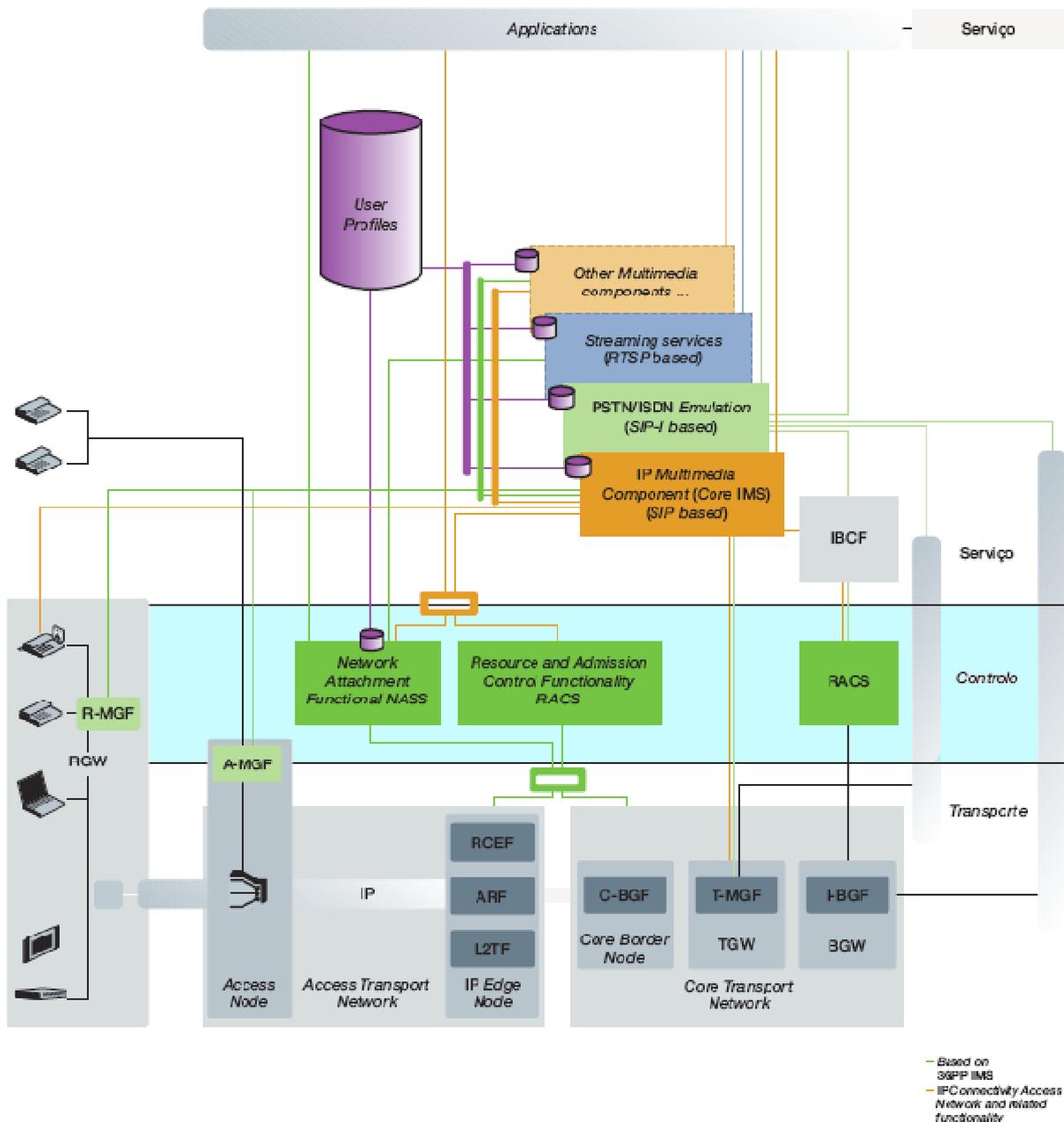
As redes de *core* possuem tecnologias de muito maior capacidade; além disso, devido ao elevado factor de agregação, lidam com variações de tráfego muito mais pequenas do que nas redes de acesso. Estas pequenas variações em capacidades de grande dimensão permitem a aplicação das leis dos grandes números com maiores factores de confiança, e conseqüentemente efectuar multiplexagem estatística com menos risco [STATMUX]. Este fenómeno viabiliza e sustenta o sobredimensionamento fundamentado das redes de *core*, o que leva a que estas redes não sejam objecto de grande preocupação a nível da gestão de recursos.

Estes factores conduzem a que sejam as redes de acesso as que apresentam maior interesse no que toca à gestão dos recursos, uma vez que são onde estes se encontram em menor número, onde existe partilha do meio, e ainda onde se verificam as maiores variações na utilização, o que conduz a maiores dificuldades na exploração da multiplexagem estatística.

### **2.5.2 TISPAN**

O organismo ETSI TISPAN encontra-se presentemente em fase de especificação, de uma arquitectura para as NGNs, cujo objectivo é expandir e melhorar a especificação do *IP Multimedia Subsystem (IMS)* do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) [3GPP] para permitir a sua utilização como parte central das redes fixas e móveis, bem como permitir a interligação com serviços PSTN/ISDN (*Public Switched Telephone Network/Integrated Services Digital Network*).

A arquitectura proposta baseia-se numa filosofia por camadas, onde podemos distinguir três camadas: uma de serviço, uma de controlo e outra de transporte.



**Figura 5 - Arquitetura funcional ETSI TISPAN para as NGN**

A camada de serviço (apresentada na Figura 5, acima da zona a azul celeste) é composta por subsistemas que englobam, o *core IP Multimédia Subsystem* - IMS, emulação de PSTN/ISDN, outros subsistemas ligados ao multimédia, e ainda componentes comuns a vários outros subsistemas.

Por sua vez, a camada de controlo (apresentada de novo na Figura 5, a azul celeste) é dividida em apenas dois subsistemas, o *Network Attachment SubSystem* – NASS, e o *Resource and Admission Control Subsystem* – RACS. Enquanto o NASS e as suas funcionalidades se prendem com questões de aprovisionamento, autenticação a nível IP, autorização e configurações de rede

com base nos perfis de utilizador, e ainda gestão de localização a nível IP, o RACS lida com a gestão de recursos e controlo de admissão. É neste subsistema (RACS) que se enquadra o elemento dedicado à gestão de recursos de rede. Este elemento possui características que serão descritas na secção 2.6.

Existe ainda uma terceira camada, onde se englobam todos os elementos associados aos mecanismos de transporte da informação (localizada na figura a baixo da zona a azul celeste).

### 2.5.3 DAIDALOS

O projecto europeu DAIDALOS (*Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services*) [DAIDALOS] é um projecto da União Europeia (EU) e enquadra-se na iniciativa FP6 (*Framework Programme 6*) sendo um *Integrated Project* (IP), que procura criar uma arquitectura de rede que suporte e potencie o acesso transparente e pervasivo a conteúdos e serviços através da utilização de redes heterogéneas, providenciando suporte intrínseco à personalização e à adequação a contexto.

Existem cinco conceitos chave, que guiam as operações na rede Daidalos:

- MARQS (*Mobility Management, Authentication, Authorization, Accounting, Auditing and Charging – A4C, Resource Management, QoS and Security*)
- VID (*Virtual Identity*)
- USP (*Ubiquitous and Seamless Pervasiveness*)
- SIB (*Seamless Integration of Broadcast*)
- *Federation*

O propósito destes conceitos é providenciar a integração funcional de serviços fim-a-fim utilizando redes heterogéneas assentes em paradigmas de QoS.

Ao permitir que o utilizador não esteja associado aos dispositivos que utiliza, a arquitectura Daidalos confere uma capacidade avançada de gestão da privacidade bem como uma interacção personalizada entre o cliente e o operador.

A ubiquidade em conjugação com pervasividade, suportadas por equipamentos cada vez mais embebidos no dia-a-dia, permitem que seja realizada uma adaptação perante contextos dinâmicos, movimentação e interacção do utilizador.

Broadcast é também um factor de base, permitindo a integração de tecnologias já adoptadas como norma para um futuro próximo (*Digital Video Broadcast – DVB*), bem como a capacitação de serviços de massas como televisão, *data-casts*, etc...

A especificação de classes de federação permite a cooperação entre operadores de rede, potenciando a troca de serviços, o que abre caminho ao aparecimento de operadores não detentores de infra-estruturas de rede completas, mas de apenas partes específicas, criando maior dinamismo no palco das telecomunicações (Figura 6).

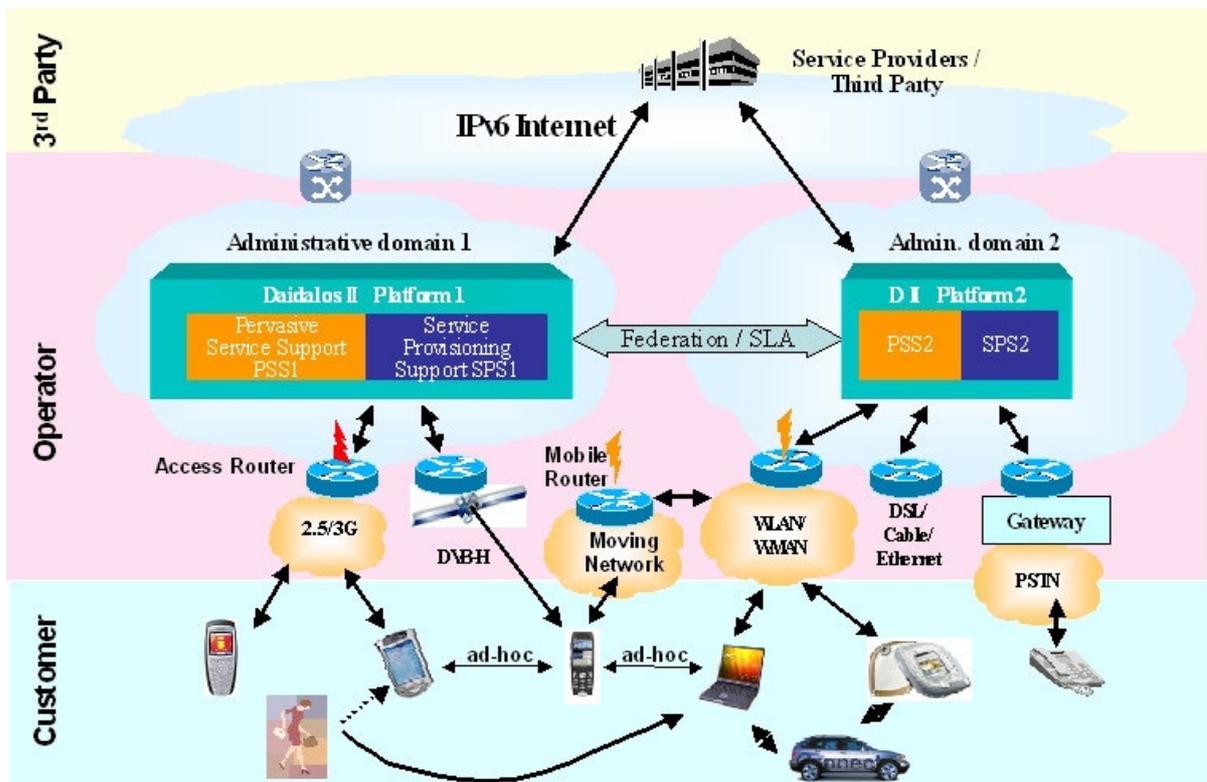


Figura 6 - Cenário de integração Daidalos

A arquitectura está dividida em duas secções de rede bem definidas (Figura 7): a secção de acesso (a amarelo) e a secção de core (a vermelho). Na secção de core encontra-se a *Service Provisioning Platform* (SPP) que é composta pelos equipamentos centrais de controlo, e pelos *routers* de core e de fronteira. Neste agrupamento de entidades (SPP) podemos encontrar algumas funcionalidades comuns às do subsistema NASS do ETSI TISPAN como o servidor de A4C.

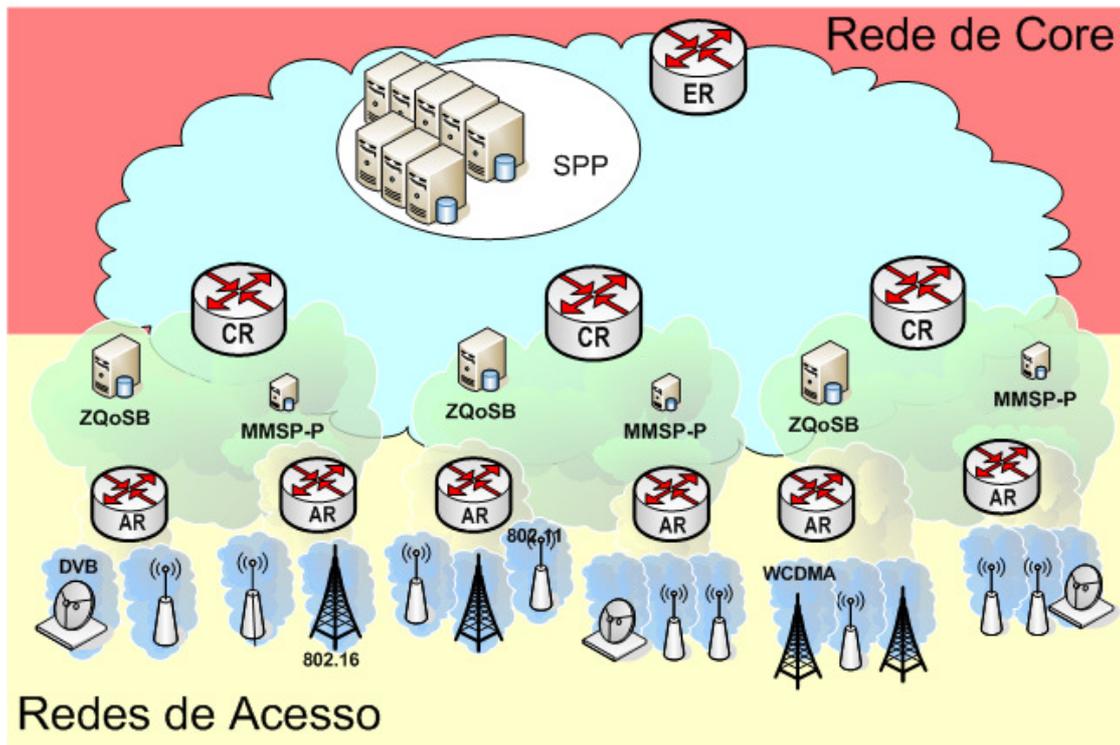
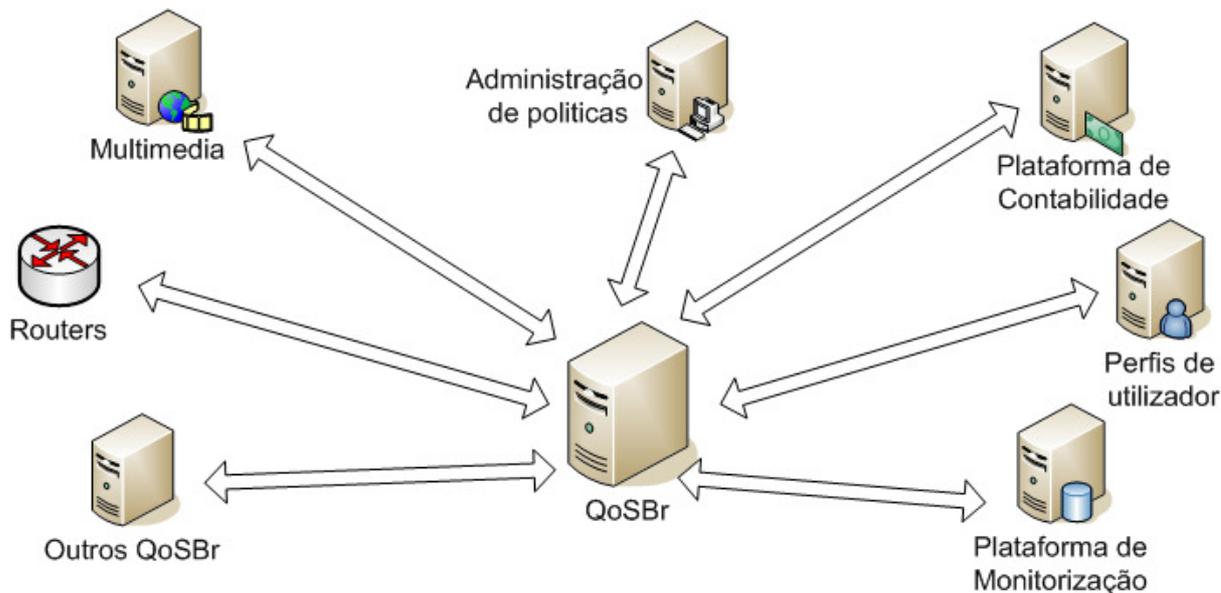


Figura 7 - Arquitectura DAIDALOS

As funcionalidades do RACS estão nesta arquitectura concentradas na entidade ZQoS (Zone QoS Broker), que efectua o controlo de admissão e a configuração dos routers. O ZQoS é a entidade que avalia os pedidos de reserva de recursos e efectua as configurações de QoS nos routers de acesso (Access Routers – ARs): providencia suporte de QoS à mobilidade, faz a gestão dos recursos para comunicações *multicast* e realiza optimizações na rede movendo sessões de forma a melhorar o desempenho da mesma.

O projecto DAIDALOS coloca uma série de desafios à entidade gestora de recursos, uma vez que delega nela uma variedade de papéis de destaque.

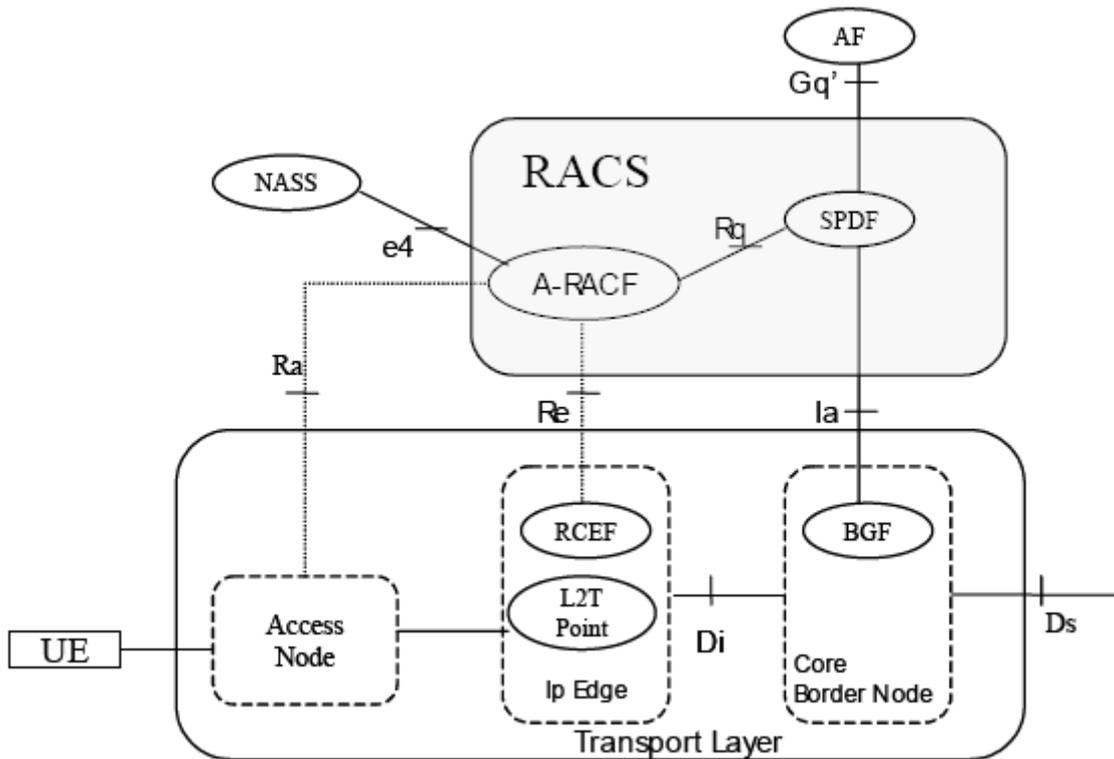


**Figura 8 - Interações do QoS Broker do projecto DAIDALOS**

O QoS Broker do projecto DAIDALOS é uma entidade de controlo de rede, que possui múltiplas interações com outros componentes da arquitectura (Figura 8). É da sua responsabilidade a gestão de rede com base em informação de medidas em permanência, proporcionada por uma plataforma de monitorização. O tratamento dado aos utilizadores e ao seu tráfego é personalizado, através da aplicação das características específicas, disponíveis nos seus perfis de utilizador. Existe na rede DAIDALOS uma plataforma de contabilidade que interage com o *broker* de forma a registar os acessos, reservas e consumos, permitindo assim aos operadores de rede cobrar os serviços prestados. A facilidade e flexibilidade de configuração do comportamento são duas características que caracterizam o *broker*, que permite a configuração do seu modo de funcionamento por meio de políticas definidas noutros componentes, de gestão macroscópica da rede. Os pedidos de reserva de recursos são recebidos por intermédio de *proxies* multimédia, *routers* e outros QoS Brokers, criando assim um isolamento desta entidade de gestão, no que toca aos utilizadores. Estas interações são ainda complementadas por papéis de coordenação dos processos de mobilidade intra e inter domínio bem como da optimização da sua zona de acção, efectuando *handovers* (movimentações de fluxos para outros pontos de acesso ou *routers*) quando estes possam melhorar o desempenho da rede ou balancear a carga existente.

## 2.6 QoS Broker - Gestor de recursos IP

O RACS é o subsistema de controlo do plano de transporte do TISPAN (Figura 9). Possui como elementos funcionais o SPDF (*Service-based Policy Decision Function*) e o A-RACF (*Access - Resource and Admission Control Function*).



**Figura 9 - TISPAN RACS e respectivas interfaces**

O módulo SPDF é o responsável por receber das AF (*Application Function*) os pedidos de QoS através de uma interface bem definida ( $Gq'$ ) que uniformiza a maneira como os pedidos são feitos e mascara quer a topologia subjacente, quer as tecnologias de acesso envolvidas. É ele o responsável por tomar decisões com base em políticas definidas pelo operador, relativas aos pedidos e contactar os A-RACF ou BGF apropriados, efectuando as traduções e os mapeamentos necessários, de modo a que os pedidos possam ser correctamente interpretados.

É no módulo A-RACF que se realiza o controlo de admissão, uma vez recebidos do SPDF os dados relativos ao pedido. Após a avaliação, é enviada uma resposta de volta ao SPDF, para que este possa responder aos AF que tenham efectuado o pedido inicial.

Este módulo é também responsável por efectuar policiamento de que as regras definidas pelo SPDF podem e estão a ser cumpridas nas linhas de acesso. Esta funcionalidade prende-se com a possibilidade da interface  $Rq$  poder ser inter-domínio, isto é, os dois componentes não serem do mesmo operador.

O projecto DAIDALOS também possui uma entidade central dedicada: o QoSBr apresenta-se como a entidade responsável por avaliar os pedidos de reservas de recursos, configurar os *routers* com os filtros de QoS apropriados, avaliar o estado de ocupação das redes para permitir operações de optimização movendo

terminais de umas redes para outras, efectuando também a gestão das comunicações *multicast*.

Os pedidos de reserva de recursos podem ser provenientes de duas entidades distintas, e consoante o caso, apresentam-se de duas formas bastante diferentes. O caso mais semelhante ao do ETSI TISpan, é o de pedidos que chegam ao QoSBr através do MMSP-P (*MultiMedia Service Platform – Proxy*) que possui uma interface Gq', em tudo semelhante às que são usadas pelas AFs no ETSI TISpan. Uma breve análise aos pedidos provenientes do MMSP-P, revela que estes são pedidos relativos a comunicações *Session Initiation Protocol* (SIP) [RFC 3261], tal como se verifica para o caso do RACS, dado que o ETSI TISpan faz uso do core IMS, onde o SIP é pedra basilar. Estes pedidos são bastante completos no que toca à descrição da reserva, quando comparados com os provenientes de outras fontes, uma vez que são baseados na informação constante no pedido SIP, que recorre ao SDP (*session description protocol*) [RFC 2327] para sinalizar as características descritivas dos fluxos.

Os restantes pedidos processados pelo QoSBr são provenientes do *router* de acesso, e são o resultado de comunicações *Next Steps In Signalling* (NSIS) [NSIS] entre o utilizador e o AR ou ainda através de mecanismos sem sinalização explícita.

A quantidade de informação presente nos pedidos de reserva obriga a que o QoS Broker tenha por vezes de completar os pedidos de reserva, com informação que possa não estar presente. A informação adicionada é numa primeira fase procurada no perfil de utilizador, carregado na altura em que o utilizador se regista na rede; ou então, no caso de ser informação demasiado genérica (que não conste no perfil de utilizador), é procurada na lista de políticas configuradas pelo operador, onde estão armazenados os parâmetros e permissões por defeito a atribuir.

O QoSBr possui ainda interface com uma plataforma de monitorização que lhe permite manter um registo do estado da rede, em termos de ocupação e em termos de desempenho para os parâmetros de QoS. As interações com a entidade central de monitorização são realizadas através do *Service Oriented Architecture Protocol – SOAP* (ou *Simple Object Access Protocol*, como era conhecido antes da versão 1.2) [SOAP] para operações de configuração; sendo utilizado o *Internet Protocol Flow Information eXport* ou IP-FIX [IPFIX] para a recepção de métricas.

## 2.7 Sumário

Neste Capítulo foi abordada a gestão de recursos em redes IP. Numa primeira etapa foram apresentadas as noções de recursos de rede IP e de qualidade de serviço.

Nas redes actuais existem variados parâmetros utilizados para providenciar QoS. Estes parâmetros podem ser agrupados dentro de intervalos, para constituir acordos de prestação de serviço. Os serviços em redes IP pressupõem troca de informação que vai segmentada em pacotes de dados.

Esses pacotes atravessam a rede e podem ser marcados, de forma a que os elementos de rede possam tratá-los de forma diferente. Os elementos de rede podem realizar formatação, alterando as características dos fluxos, e ainda efectuar policiamento verificando a correcta marcação por parte das fontes.

Existem ainda elementos na rede que têm como função observar o comportamento dos fluxos de pacotes e calcular o valor dos parâmetros de QoS que lhes está associado. Estes dados são importantes para entidades de gestão dos recursos de rede.

Estas entidades podem gerir a rede aplicando princípios de *overbooking* e utilizando diversos mecanismos de controlo de admissão. Os mecanismos estáticos caracterizam-se por terem baixos requisitos no que toca a informação externa por parte dos outros componentes, mas revelam-se pouco eficientes, ou muito conservativos no que toca às taxas de utilização. Os mecanismos dinâmicos apresentam melhores taxas de utilização mas exigem uma forte componente computacional bem como requisitos elevados aos componentes de monitorização. Existem ainda mecanismos híbridos que pretendem reduzir a dependência da informação externa, como é o caso dos mecanismos baseados em experiência e ainda os mecanismos baseados em redes neuronais.

O organismo de normalização IETF, especificou algumas arquitecturas para providenciar QoS, como é o caso dos modelos Intserv e Diffserv; estes dois modelos foram também combinados dando origem a modelos mistos. O modelo Diffserv introduz a noção de *bandwidth broker*, entidade que pretende fazer a gestão da largura de banda disponível na região Diffserv e nos seus acessos.

Para além do IETF, outros organismos de normalização encontram-se em fase de estudo e especificação de arquitecturas completas, para as redes de próxima geração, como é o caso da rede TISPAN ou da rede DAIDALOS.

Ambas estas redes possuem entidades dedicadas à gestão de recursos IP; esta é a entidade responsável pela aplicação personalizada dos acordos de prestação de serviço. É também a entidade que controla os níveis de QoS na rede e que configura os elementos de acesso (*routers*).

É nesta entidade que residem os mecanismos de gestão da rede, sobre os quais esta tese recai e que serão descritos no Capítulo seguinte.

### 3 Proposta de melhoria para a gestão de recursos em redes *All-IP*

Apesar de neste momento existirem factores de contenção que se traduzem em alguma flexibilidade no que toca ao desempenho do serviço contratualizado, é de prever que com a progressiva implementação de cada vez mais serviços sobre IP, os requisitos das aplicações forcem SLAs mais rígidos, como menor flexibilidade nos parâmetros de desempenho dos serviços.

Os modelos de gestão de recursos que pressupõem mecanismos de reservas estáticas dos recursos disponíveis na rede, claramente mais conservativos e pessimistas, permitem aos operadores garantir mais facilmente que para casos de utilização massiva dos recursos, estes se encontram disponíveis e com níveis de QoS satisfatórios, não se verificando incumprimento das obrigações contratualizadas com os clientes nos SLAs.

A capacidade de obter informação do tráfego real em curso, permite a adopção de mecanismos que permitam rentabilizar os recursos alocados mas não utilizados. Uma plataforma de medidas que analise e reporte o verdadeiro estado dos recursos na rede, torna-se então necessária para que o gestor de recursos possa usufruir da referida capacidade.

A organização temporal e profissional da vida dos seres humanos evidência padrões quer comportamentais, quer geográficos, o que pode ser explorado para prever o estado de segmentos da rede no que toca a serviços específicos, com requisitos particulares e que devam ser geridos com maior cuidado. Um sistema de registo dos perfis de tráfego sob a forma de histórico permitirá inferir padrões, em determinadas alturas do dia, da semana, do mês e até mesmo do ano, permitindo tomadas de decisões mais correctas e eficazes, no que toca à gestão dos parâmetros de QoS, bem como a taxa de *overbooking* a aplicar a determinados instantes temporais.

Neste Capítulo apresenta-se então a abordagem híbrida que se propõe analisar, começando por estudar o mecanismo de registo de reservas de recursos, e a forma como os geradores de tráfego anunciam os seus requisitos à rede.

A secção seguinte apresenta e descreve a forma como o gestor de recursos adquire informação sobre o estado da rede.

Na terceira secção é discutida a sazonalidade, sua aplicabilidade e possíveis formas de exploração de dados passados.

A quarta secção ilustra a forma como o factor de *overbooking* se relaciona com o mecanismo de perfil sazonal e o método de exploração desta relação, por parte de um mecanismo de controlo de admissão.

O Capítulo conclui com um breve sumário dos conceitos e mecanismos propostos.

### 3.1 Registo de reservas

Os parâmetros mais comuns com que uma fonte de tráfego anuncia o seu comportamento são a taxa de pico e a taxa média de transmissão. Estes descritores são suficientes quando as fontes são possuidoras de um comportamento fixo. No entanto, na maior parte dos casos, o comportamento é bastante variável, o que obriga à utilização de outro tipo de metodologias para descrever o tráfego.

O esforço na especificação de um protocolo responsável pela sinalização de reservas deu origem ao RSVP – *Resource reSerVation Protocol* [RSVP] já descrito no Capítulo anterior, que utiliza dois mecanismos para a descrição: o TSPEC (*Traffic SPECification*) [RFC 2215][RFC 2210] e o RSPEC (*Reserve SPECification*) [RFC 2210] (descritos na Tabela 6), prendendo-se o primeiro com a especificação do tráfego e o segundo com a reserva propriamente dita.

RSVP T-SPEC	RSVP R-SPEC
TokenRate	TokenRate
TokenBucketSize	-
PeakBandwidth	PeakBandwidth
MinimumPolicedSize	MinimumPolicedSize
MaxSduSize	MaxSduSize
DelayVariation	DelayVariation
Latency	Latency

**Tabela 6 - parâmetros associados a T-Spec e R-Spec**

Para ambos os mecanismos são utilizados descritores que permitem caracterizar um sistema através do algoritmo *token bucket*. Este algoritmo funciona como um método de controlo do tráfego, permitindo a passagem de tráfego quando existem *tokens* no *bucket*, sendo o *bucket* enchido com *tokens* a um determinado ritmo [NADERFMIR].

O protocolo NSIS é um novo protocolo que se encontra presentemente em fase final de especificação, que tem como principal objectivo a sinalização de QoS. Os seus descritores de tráfego seguem a mesma linha utilizada no RSVP, nomeadamente o *draft* que descreve o mecanismo QSpec [QSPEC]. A Tabela 7 apresenta a estrutura TMOD, que se encontra nos pedidos NSIS.

<b>NSIS TMOD</b>
Bucket Rate
Bucket Size
Peak Rate
Minimum Policed Unit

**Tabela 7 - parâmetros associados a TMOD**

Como se pode verificar, a filosofia inicial mantém-se: o TMOD contém um parâmetro que fixa o pico máximo (*peak rate*), um que fixa o valor médio (*bucket rate*) e ainda um parâmetro que regula a quantidade máxima que a fonte poderá enviar sob a forma de *burst* (*bucket size*). É também especificado o *minimum policed unit* que corresponde ao valor mínimo considerado para efeitos de policiamento de pacotes.

Dentro da especificação do ETSI TISPA é possível encontrar a interface Gq' [TISPA GQL] para a sinalização dos pedidos de reserva de recursos. As mensagens associadas a estas interações são uma extensão do protocolo DIAMETER [RFC 3588]:

<b>ETSI Gq' Media Component Description AVP</b>
Media Component Number
Media Sub Component
AF Application Identifier
Media Type
Max Requested Bandwidth Upload
Max Requested Bandwidth Download
Flow Status
RS Bandwidth
RR Bandwidth
Reservation Class
Reservation Priority

**Tabela 8 - parâmetros associados a Media Component Description**

Mais uma vez é possível verificar que não há modificação na maneira como o tráfego é descrito; no entanto neste caso existe informação adicional que permite o tratamento mais cuidadoso da reserva.

O AVP (*Attribute Value Pair*) *media type* permite distinguir entre fluxos de médias diferentes, com requisitos diferentes; a existência de um identificador da *application function* permite decisões diferentes consoante o tipo de aplicação que faz a requisição de recursos.

Dado que a interface Gq' está especificada para sinalização de sessões que envolvam principalmente conteúdos multimédia, estão presentes AVPs que permitem a especificação da largura de banda a reservar para o tráfego de controlo (RTCP - Real-time Transport Control Protocol) [RFC 3550]) do protocolo de

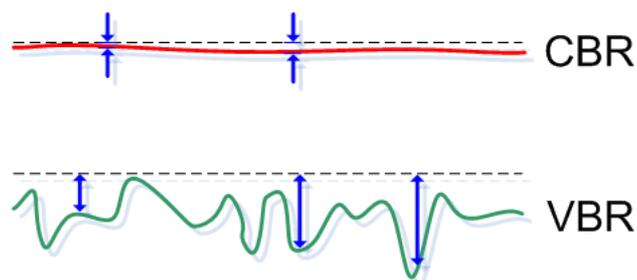
transporte RTP (Real-time Transport Protocol) [RFC 1889], sob a forma de *sender e receiver reports*.

O envio da largura de banda pretendida é então complementado com informação extra, que ajudará a compreender o tipo de comportamento da fonte e do fluxo. Esta informação extra exige que os tipos de tráfego ou os tipos de aplicações estejam padronizados, de forma a que se consigam tirar as mais valias desejadas. O envio deste tipo de informação adicional ainda não é usual, podendo-se mesmo considerar esporádico, por parte das aplicações mais utilizadas, pelo que ainda não é possível fazer uso deste tipo de funcionalidades.

Esta homogeneidade na descrição do tráfego a ser gerado prende-se fortemente com a impossibilidade de uma fonte conseguir prever e caracterizar com exactidão o seu comportamento ao longo do tempo. As reservas de recursos deverão ser então feitas tendo em conta o valor de pico anunciado, usando como referência o valor médio para o débito da fonte.

Existem dois tipos de débito para os geradores de tráfego: o constante e o variável. As fontes de *bitrate* constante (CBR) caracterizam-se por um valor médio bem definido e um desvio muito reduzido, que se traduz numa pequena oscilação, que se considera desprezável, conferindo a característica "constante". Por sua vez as fontes de *bitrate* variável (VBR) apresentam um desvio significativo, e por consequência uma oscilação mais pronunciada. Ambas as oscilações não pressupõem movimentos harmónicos simples, uma vez que a frequência de oscilação é também variável (Figura 10).

As fontes VBR têm um comportamento menos previsível do que as CBR, pelo que é neste tipo de fontes que se verá mais discrepância entre os recursos reservados e os efectivamente utilizados. Por sua vez, as fontes CBR geralmente apresentam valores mais concordantes.



**Figura 10 - Fontes CBR vs VBR**

Para fluxos com comportamentos pouco constantes, a diferença entre o valor de pico e o valor médio constitui a capacidade, que quando reservada, não será utilizada por completo (devido às oscilações). É esta banda não utilizada que se vai procurar rentabilizar, aplicando o princípio de *overbooking* às reservas de recursos.

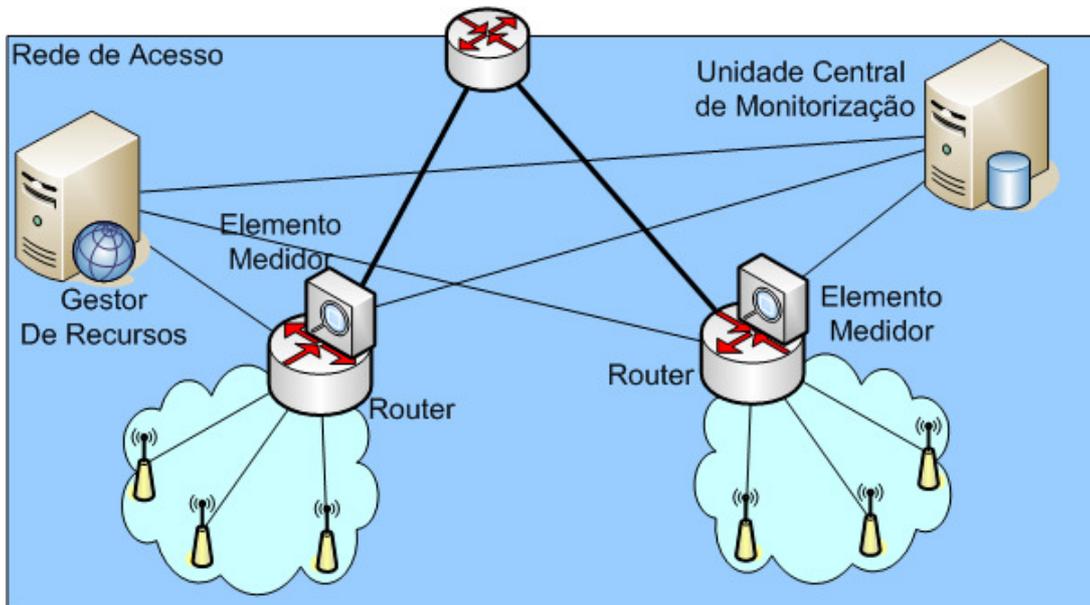
O QoS broker mantém um registo de sessões de QoS que procura caracterizar os fluxos aceites. Neste registo figura informação como a largura de banda de pico e a classe de serviço (que possui associada os respectivos parâmetros de qualidade de serviço).

É também desejável possuir informação relativa ao tipo de tráfego quando os protocolos de reserva o conseguirem sinalizar, ou então classificado como genérico, no caso de ausência. O valor médio para a largura de banda utilizada seria também outro parâmetro de grande interesse, uma vez que permitiria um cálculo mais fino dos recursos disponíveis.

### **3.2 Medidas de estado da rede**

O estado da rede é um elemento de extrema utilidade num processo de gestão de recursos, uma vez que é através da comparação entre o estado reservado e o estado de real utilização que é possível dimensionar a quantidade de recursos reservados mas não utilizados, recursos estes que poderão ser utilizados sob a forma de *overbooking*, com um grau de risco mais reduzido.

Devido à sua natureza distribuída, o estado da rede não pode ser adquirido apenas através de um elemento, localizado num determinado ponto da rede. É necessária uma plataforma constituída por elementos, colocados em locais bem definidos, capazes de providenciar informação que permita obter o estado da rede, directamente ou através de processamento, por parte de alguma entidade intermédia (geralmente uma unidade central de monitorização). No projecto DAIDALOS, a plataforma especificada apresenta a topologia da Figura 11. Esta arquitectura permite a elementos interessados efectuar requisições de métricas à unidade central de monitorização e receber os resultados finais, uma vez que esta entidade realiza os cálculos intermédios que possam ser necessários.



**Figura 11 - Arquitectura de monitorização**

Do ponto de vista do gestor de recursos, as métricas de interesse serão:

- Capacidade da ligação
  - Reservada em absoluto;
  - Efectivamente em uso;
- Parâmetros de QoS definidos pelo ITU-T
  - Atraso (médio, mínimo e máximo)
  - *Jitter* (médio, mínimo e máximo)
  - Perdas;

Estas métricas deverão referir-se às ligações utilizadas pelos fluxos e deverão ter uma taxa de actualização que permita uma resposta atempada do gestor de recursos.

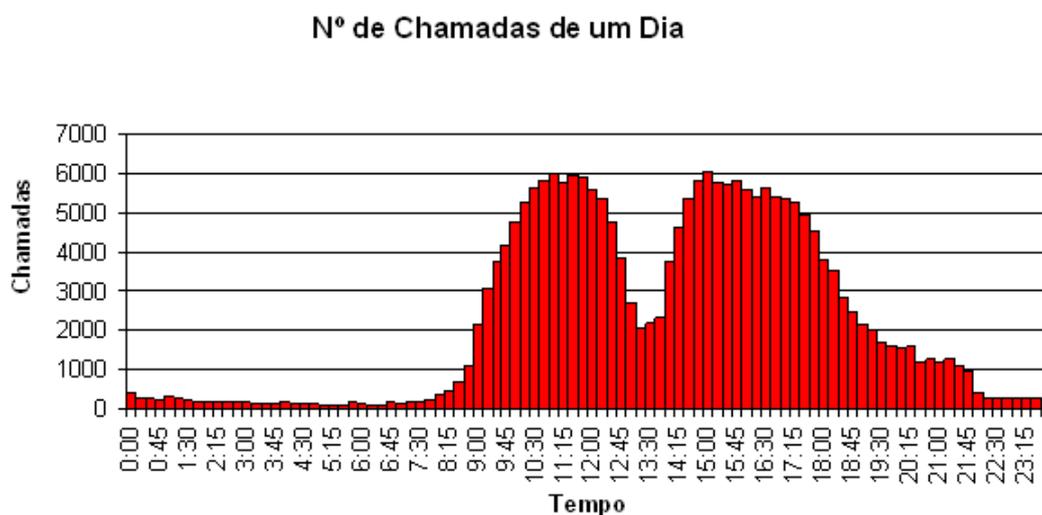
Seria interessante obter também informação de maior pormenor, como o estado das filas dos vários *routers* de interesse, para cada classe, nomeadamente a ocupação das filas e o atraso médio para cada classe, devido às filas.

### **3.3 Histórico (sazonalidade)**

O facto dos seres humanos organizarem o seu tempo em horas, dias, semanas, meses, etc... permite estabelecer modelos hierárquicos recursivos para estes intervalos temporais.

Uma medida lógica e imediata para a construção de um padrão seria o intervalo de um dia, uma vez que é este o intervalo de tempo utilizado como período de maior repetição de padrões.

A figura seguinte apresenta a distribuição do número de chamadas de um serviço de VoIP com *trunking*, para clientes empresariais, numa ligação entre dois *media gateways*, de um operador nacional:



**Figura 12 - Distribuição do número de chamadas VoIP ao longo de um dia**

É possível verificar uma correspondência entre o estilo de vida do ser humano (horário de trabalho, horário de lazer, refeições, horário de dormir) e o número de chamadas registado. Note-se a queda no período de refeição das 13 às 14 horas. Pode ainda verificar-se que praticamente todas as chamadas são feitas dentro do horário de expediente de uma empresa "normal" (das 9 às 19 horas), verificando-se um prolongamento até às 22 horas, mas em número decrescente.

Verificaram-se perfis semelhantes para os outros dias da semana de trabalho, o que revela uma convergência para uma distribuição com a forma apresentada. Por outro lado verificou-se que ao fim de semana o perfil modificava-se drasticamente, para uma ausência de chamadas, ou utilização insignificante.

Pode-se então extrapolar e agrupar os casos possíveis em 2 grupos: semana de trabalho e fim-de-semana. Este agrupamento faz bastante sentido, dado que se verificam perfis de comportamento distintos durante a semana de trabalho e durante os fins-de-semana.

Outros tipos de agrupamentos poderiam ser realizados, como por exemplo, a utilização de meses, onde tipicamente existem férias em massa (Dezembro, Agosto, etc...), meses onde isso não se verifica, entre outros agrupamentos.

Qualquer um destes agrupamentos faz sentido, a partir do momento em que permita isolar um padrão de comportamento na rede. Utilizado o modelo anterior poder-se-ia prever que a partir das 12 horas a rede iria ficar menos carregada, ou que a meio da manhã a rede iria estar no seu máximo de utilização.

Estes factores permitem realizar inúmeros melhoramentos, tais como criar políticas que permitam modificações na forma como são geridas as classes de serviço da rede de forma a que no período de maior utilização esta não se encontre em sobrecarga, tomar decisões de admissão de chamadas menos conservativas mas com maior confiança, explorando esta informação de sobrecarga, ou libertação dos recursos nos instantes futuros.

A construção do histograma de perfil diário é efectuada no *QoS Broker*, utilizando informações fornecidas pela entidade central de monitorização e pelo registo interno de reservas.

Este perfil de informação é criado através das reservas de recursos aceites e da informação sobre a quantidade de recursos reservados efectivamente usados (proveniente da plataforma de monitorização).

A natureza do histograma pressupõe a sua divisão; dado que a duração total do histograma que será utilizado no mecanismo proposto é de um dia, com 24 horas, a sua métrica divisora deverá ser tal que apresente um bom compromisso entre o número de pontos por dia e o intervalo de observação do histograma. Um número bastante elevado de divisões, para além de exigir uma maior capacidade de processamento, é mais sensível às flutuações rápidas e poderá não permitir comportar observações do estado da rede durante tempo suficiente (como é o caso do cálculo do atraso cuja duração recomendada segundo a recomendação Y.1541 do ITU-T, é de um minuto); por outro lado, um número baixo de divisões é mais propício a erro uma vez que o intervalo pode agregar um número elevado de variações, que serão suavizadas, introduzindo erro no mecanismo de decisão. A Tabela 9 apresenta a correspondência entre intervalos de tempo e número de pontos, que seriam produzidos no decorrer de um dia.

<b>Intervalo (min)</b>	<b>Pontos por dia</b>
60	24
30	48
10	144
5	288
1	1440

**Tabela 9 - Número de pontos por histograma**

Do ponto de vista humano, os valores mais intuitivos seriam o de 60 minutos ou 30 minutos. Contudo isso impõe uma baixa capacidade de reacção ao mecanismo, pelo que o valor do intervalo deverá ser bastante mais baixo. A

recomendação Y.1541 do ITU-T indica que as observações para o cálculo do atraso, deverão ser de 60 segundos, pelo que esse será o valor limite inferior.

### 3.4 *Overbooking* apoiado no estado da rede

Para dimensionar o factor de *overbooking* é utilizada informação proveniente da experiência adquirida (perfil de tráfego), bem como um factor de correcção baseado no estado dos parâmetros de QoS. A aplicabilidade do mecanismo é sistematicamente analisada, tornando-se o algoritmo mais conservativo para casos em que a realidade medida não esteja dentro de uma vizinhança predefinida relativamente à informação armazenada no perfil.

A plataforma de medidas permite assim o registo da capacidade em utilização, que em conjunto com o registo de capacidade reservada permite aplicar a seguinte equação de admissão:

$$C_P(t) + \sum_i C_{Ri}(t) < C_{Total} \times \varphi(t)$$

#### **Equação 2 - Condição de admissão**

Nesta equação,  $C_P$  corresponde à capacidade que se encontra a ser pedida,  $C_R$  à capacidade reservada para os pedidos  $i$ , já aceites,  $C_T$  traduz a capacidade total da ligação, e  $\varphi$  representa o factor de *overbooking* (definido de  $[1, +\infty[$ ). Este factor é inicializado com o valor unitário e posteriormente é alterado por meio de um mecanismo que o aumenta/reduz (dentro do intervalo especificado) mediante a avaliação de um conjunto de parâmetros (perfil, estado da rede, níveis de QoS).

Pode-se então verificar que, para um pedido ser aceite, a capacidade pedida quando adicionada à soma de todas as capacidades já aceites, tem de ser inferior à capacidade total da ligação, multiplicada pelo factor de *overbooking*  $\varphi(t)$ .

Esta abordagem por si só não é estável uma vez que as fontes injectam tráfego na rede de uma forma dinâmica e não sincronizada, para além de geralmente não apresentarem débitos constantes; por estes motivos, o factor de *overbooking* é variável ao longo do tempo, o que impõe a utilização de mecanismos de controlo para manter a rede num estado estável. Estes mecanismos socorrem-se dos seguintes parâmetros:

- Níveis de qualidade de serviço
- Utilização da rede
- Informação passada (perfil)

- Previsão de evolução futura

Qualquer algoritmo de controlo de admissão para redes com qualidade de serviço tem de monitorar constantemente o estado das classes de serviço disponíveis e garantir que o funcionamento das mesmas se encontra em concordância com os valores definidos inicialmente, para os parâmetros de QoS de cada classe.

Uma degradação destes parâmetros indica que o factor de *overbooking* terá de ser afectado, por forma a tornar o algoritmo mais conservativo. Desta forma é requerida à plataforma de monitorização informação que permita detectar a degradação dos parâmetros de QoS a tempo de permitir a execução de procedimentos que protejam o funcionamento da rede, tais como a redução do factor de *overbooking* ou mesmo a desactivação temporária da admissão.

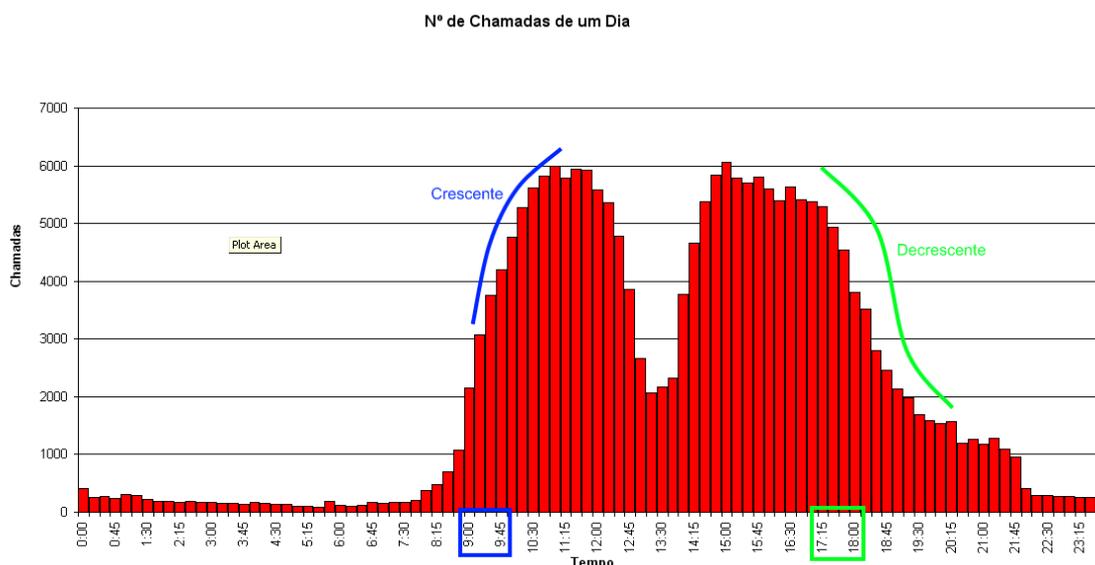
O coeficiente de utilização da rede é dado pelo quociente entre a capacidade efectivamente em uso e a capacidade total da ligação:

$$\rho(t) = \frac{C_E(t)}{C_{Total}}$$

### **Equação 3 - Coeficiente de utilização da rede**

Quando a utilização da rede está perto da utilização total, torna-se extremamente difícil garantir QoS a todos os fluxos; desta forma, este factor é normalmente utilizado como regulador limitativo superior dos valores máximos que o factor de *overbooking* poderá ter. Nesta situação poderá mesmo entrar em acção um mecanismo de redução do factor de *overbooking*, caso a tendência seja de um aumento de carga, e uma vez que a rede se encontra com um nível que se identificou como elevado. Este valor pode ser configurável e até mesmo auto-regulável por um mecanismo auxiliar que compare a qualidade do serviço prestado no passado, para vários factores de utilização e fixe o factor de utilização (ou a sua flutuação), num determinado valor (ou gama de valores).

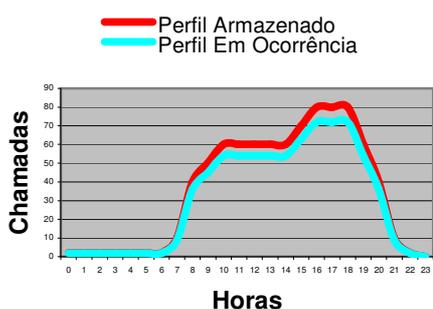
Outro mecanismo de regulação do factor de *overbooking* é a informação sobre o passado. Dada a existência de perfis de tráfego que converjam para um histograma pouco variante, é possível analisar o valor da soma das capacidades reservadas  $C_R(t)$ , e o da capacidade efectivamente em utilização  $C_E(t)$  numa janela temporal futura e inferir *à priori*. É também possível detectar aumentos bruscos ou reduções significativas nos valores das capacidades em análise.



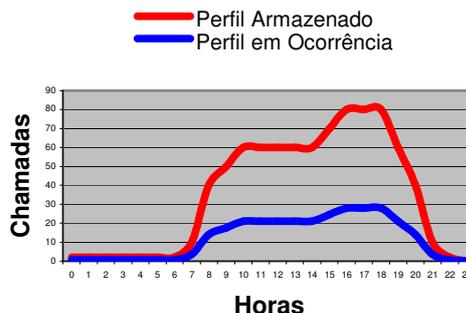
**Figura 13 - Perfil típico VoIP para dia de trabalho**

Desta forma, um mecanismo de regulação poderia ajustar o factor de *overbooking* de forma a que a rede pudesse explorar a redução (zona verde na figura anterior) aumentando o valor do factor; ou pudesse prevenir uma sobrecarga no caso de um aumento (zona azul na figura anterior) reduzindo o valor do factor.

A aplicabilidade deste mecanismo pode ser validada com a verificação de concordância dos dados constantes no perfil armazenado e os valores reais que estejam a ocorrer.



**Figura 14 - Concordância forte**



**Figura 15 - Concordância fraca**

A figura anterior ilustra a existência de forte (esquerda), e fraca (direita) concordância entre o perfil armazenado e o perfil em ocorrência, o que respectivamente apoia ou reduz a aplicabilidade do mecanismo.

Uma fraca concordância levaria o mecanismo a tornar-se mais conservativo e por consequência modificar o factor de *overbooking* de forma a que este se aproximasse da unidade (ausência de *overbooking*).

### **3.5 Sumário**

O modelo apresentado nesta secção possui as características adaptativas que permitem o seu auto-ajuste a padrões de tráfego que ocorram para uma área de acção determinada, sob a alçada do gestor de recursos.

É realizado *overbooking* de forma a permitir rentabilizar a capacidade desperdiçada; esta capacidade é directamente proporcional ao número de reservas existentes, dado que as reservas são efectuadas por meio de mecanismos que sobredimensionam os pedidos. Este factor de sobredimensionamento associado a um grande número de pedidos permite explorar multiplexagem estatística e aumentar a utilização dos recursos de rede.

A par desta gestão de recursos, é efectuada uma monitorização do estado da rede, permitindo uma capacidade de resposta a anomalias que se possam verificar a nível de QoS. O armazenamento do comportamento da rede permite caminhar no sentido do estabelecimento de um perfil para a rede. A exploração dos padrões repetitivos contidos no perfil permite uma alocação mais eficiente dos recursos, nas alturas de maior proximidade do limite; bem como adequar políticas de rede que privilegiem determinados tipos de tráfego.

## 4 Teste do conceito

Nesta secção pretende-se testar o modelo proposto no Capítulo 3. Para tal, recorreu-se a um programa computacional capaz de providenciar um ambiente de simulação. Nele foi programado um componente gestor de recursos e um conjunto de fontes com comportamento que apresentasse padrões similares aos apresentados na secção 3.3.

A secção seguinte apresenta o objectivo específico do teste, ao passo que na secção 4.2 é apresentado o ambiente de simulação.

Na secção 4.3 são descritos os componentes intervenientes no cenário de testes, nomeadamente a sua morfologia interna em termos de implementação. As duas secções seguintes (4.4 e 4.5) apresentam respectivamente aspectos particulares da implementação, aproximações consideradas e ainda os mecanismos específicos inerentes à implementação do modelo proposto.

A secção 4.6 apresenta os resultados obtidos nos testes e na secção seguinte (secção 4.7) são examinados os resultados, bem como a análise dos mesmos.

### 4.1 Objectivo

Pretende-se com esta simulação verificar a validade do modelo de controlo de admissão proposto. Para tal, foi especificado um cenário que permitisse verificar o aumento de utilização da rede quando aplicado o mecanismo em estudo, fazendo uso da manipulação do factor de *overbooking*

### 4.2 Ambiente de simulação

Para efectuar a modelação do gestor de recursos, e dos restantes componentes intervenientes num cenário com múltiplos utilizadores, possuidores de variados comportamentos a nível de tráfego, foi escolhido o simulador OMNET++ [OMNETpp].

A possibilidade de programar o comportamento dos componentes na linguagem C++, foi decisiva, bem como a disponibilidade por parte da plataforma, de uma biblioteca de componentes que não exigisse uma construção integral do modelo de simulação.

O OMNETpp é um ambiente de simulação de estatística, para eventos discretos, características que emparelham na perfeição com as do modelo que se pretendia testar.

Este ambiente de simulação por si só, apresenta grandes potencialidades, pela sua facilidade de programação, mas não pretende concorrer directamente com programas específicos como COMNET III (descontinuado) ou OPNET Modeler [OPNET]; que por serem ambientes de simulação específicos de redes de comunicação, possuem à partida uma enorme variedade de equipamentos disponíveis para serem integrados nos cenários que se possam pretender testar.

A filosofia construtiva destes outros programas é bastante poderosa para cenários que se baseiem em componentes e modelos existentes, uma vez que permitem uma configuração minuciosa de todos os parâmetros; porém em termos de extensão de funcionalidades, revelam-se bastante limitados.

Para colmatar esta desvantagem, existe outra família de ambientes de simulação, que se baseia na integração de código C/C++ em ambientes dedicados à estatística. Os dois programas mais populares são o OMNETpp e o Network Simulator-2 [NSIM]. Apesar deste último ser bastante utilizado no universo académico e de ter uma grande comunidade de utilizadores, o seu desenvolvimento encontra-se algo abrandado devido ao esforço de criar uma terceira versão, que suprima a principal falha que é apontada à versão actual: o ambiente gráfico.

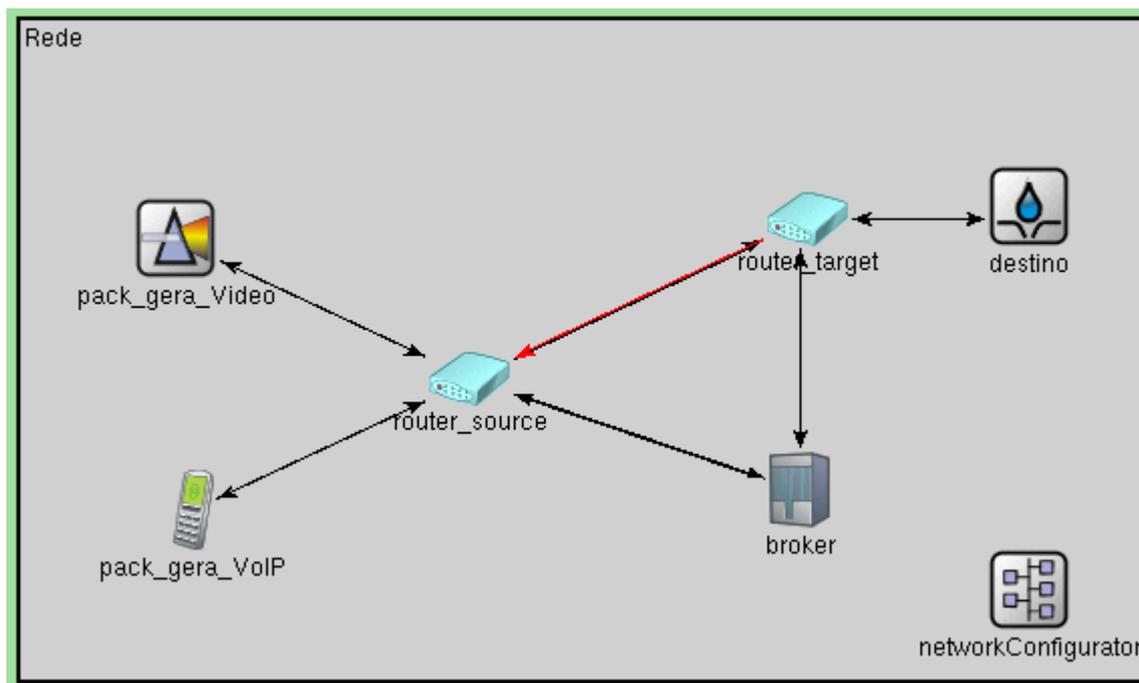
Na altura em que se realizou a escolha da ferramenta de simulação, o OMNETpp disponibilizava um ambiente gráfico atraente, um manual aparentemente bem estruturado e uma comunidade web bastante activa. A existência de *frameworks* de extensão para INET, mobilidade IP e ainda IPv6, indicaram um estado mais activo de desenvolvimento, factor importante no que acabou por ser a decisão de escolher o OMNETpp como ambiente de simulação.

O *framework* INET é um conjunto de funcionalidades, descrições e implementações de elementos de rede, sejam estes as entidades propriamente ditas, ou os subcomponentes que as constituem. Foi este *framework* que serviu de base a todos os componentes do modelo utilizado na simulação, encontrando-se as modificações operadas, descritas na secção seguinte.

### 4.3 Cenário de testes

Para testar a solução proposta, foi escolhida a conhecida topologia em *dogbone*, que permite observar o comportamento de uma ligação bem definido como *bottleneck* (assinalada a vermelho na figura seguinte) perante um número considerável de fontes de tráfego que o vão saturar.

Para efeitos de simplicidade, decidiu-se integrar a plataforma de medidas, nos componentes de controlo: a unidade central de monitorização foi integrada no gestor de recursos e os elementos medidores foram integrados nos *routers*.

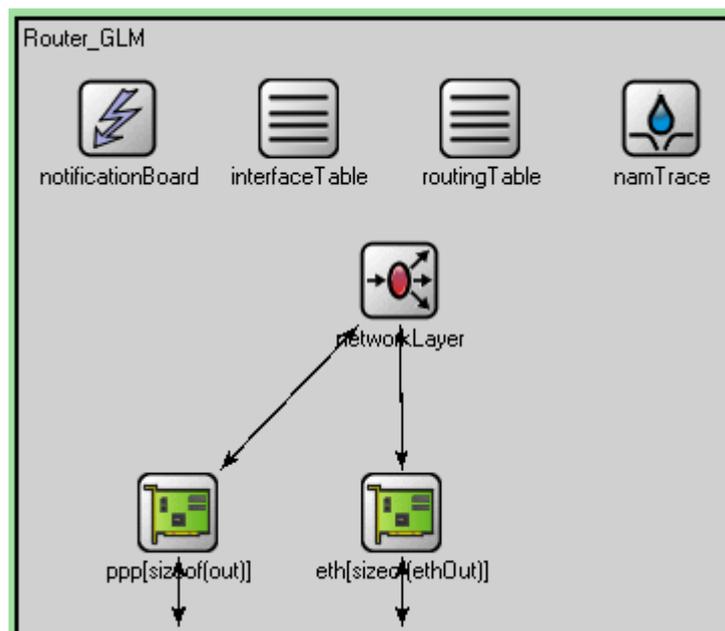


**Figura 16 - Cenário de testes**

Os componentes disponíveis estão organizados seguindo uma abordagem similar à do paradigma de programação orientado por objectos; podem-se então definir componentes como se fossem classes e tirar partido dos mecanismos de herança, para agregar funcionalidades. Faz então sentido reutilizar os componentes disponíveis e acrescentar funcionalidades que permitam realizar as operações necessárias à simulação, evitando assim criar componentes de raiz.

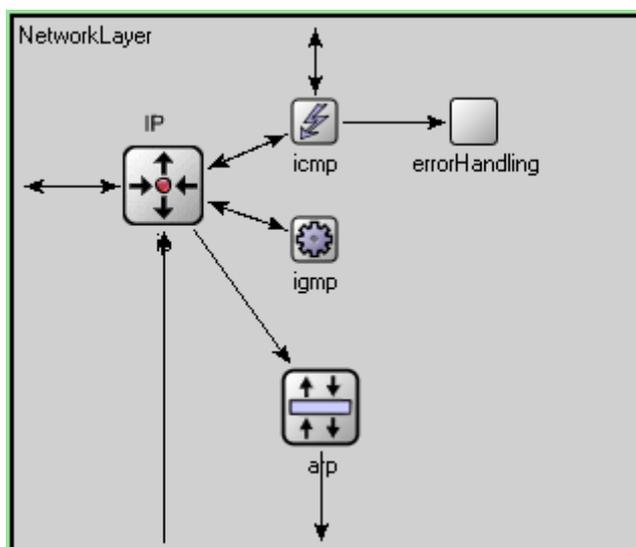
#### **4.3.1 Router**

O modelo de *router* disponível apresenta características que permitem uma boa reutilização do mesmo no modelo global que se pretende implementar. Para se obter valores de métricas relativas ao estado da rede, optou-se por dotar o módulo "*router*", de capacidades de monitorização, normalmente disponíveis em elementos medidores (*probes*), de plataformas de medidas.



**Figura 17 - Modelo interno do Router**

As interfaces do módulo "router" enviam as mensagens recebidas ao módulo "network layer", onde estas são processadas. Este módulo por sua vez, é composto por vários outros módulos que realizam funcionalidades, como o seu nome indica, ao nível da camada de rede. Um deles é o módulo "IP", onde se introduzem as funcionalidades que permitam efectuar o processamento dos pacotes IP de forma a computar as métricas necessárias ao funcionamento do gestor de recursos.



**Figura 18- Módulo de rede do Router**

O módulo IP é do tipo *simple*, que no OMNETpp significa entidade de mais baixo nível de agregação, que não contém submódulos no seu interior.

Neste módulo foram então introduzidos, mecanismos de contagem e armazenamento de dados relativos aos pacotes processados pelo *router*. O gestor de recursos acede periodicamente a estes dados para manter actualizada a sua base de dados de estado da rede.

#### 4.3.2 Gestor de recursos

O gestor de recursos foi um componente que teve de ser desenvolvido de raiz, sendo criado um módulo de tipo *simple* com todo o comportamento da entidade. A funcionalidade principal do gestor de recursos é realizar controlo de admissão, avaliando os pedidos de reservas de recursos. Para tomar uma decisão relativa à admissão do pedido, o gestor socorre-se de um algoritmo híbrido, baseado em experiência e com suporte a medidas.

Tipicamente, o motor de aquisição de métricas é externo ao gestor, devido a factores de escalabilidade e multiplicidade de entidades consumidoras de métricas. Dado que nesta simulação apenas o gestor é o consumidor das métricas, optou-se por integrar a funcionalidade de agregação de métricas no próprio gestor.

Isto quer dizer que é o gestor que programa que recebe a informação de cada elemento medidor, recaindo sobre si a responsabilidade de processamento dos dados e obtenção de métricas de interesse. A funcionalidade de aquisição de métricas é configurável e a sua periodicidade está associada ao número de divisões do histograma (*slices*).

O processo de entrada de valores no perfil de tráfego é regulado por um sistema de pesos (descrito na secção 3.3); os valores escolhidos para os pesos, foram

$$\begin{cases} P_{Perfil} = 0.75 \\ P_{Medida} = 0.25 \end{cases}$$

Este par de valores confere um peso de um quarto ao valor medido, o que vai permitir uma significativa dessensibilização do perfil, a flutuações abruptas, ou comportamentos ocasionais. Esta suavização da resposta do perfil implica uma redução na velocidade de convergência do perfil para um estado estacionário, o que impõe à simulação um período de *warm up* mais longo, que não seria necessário, caso a resposta não fosse suavizada.

Após a aquisição, o gestor de recursos realiza ainda a tarefa de processar os dados para que estes possam ser utilizados pelos mecanismos de decisão. Este

processamento permite povoar o perfil com o valor da capacidade em efectiva utilização a um dado momento temporal.

A utilização do perfil retira ao mecanismo de decisão, a necessidades de operação de aquisição em *real-time*, uma vez que os valores adquiridos só serão utilizados no próximo ciclo iterativo do perfil. Desta forma consegue-se contornar uma das questões mais problemáticas dos mecanismos de MBAC (necessidades de monitorização *real-time*), conferindo ao processo de aquisição de medidas, um papel de actualização do perfil.

Contrastando com os mecanismos de MBAC, os mecanismos de EBAC utilizam informação do passado para tomar decisões; contudo existe a necessidade de verificar se o comportamento actual da rede se enquadra no comportamento registado no perfil.

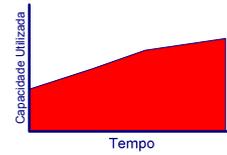
Foi então implementado um mecanismo de verificação da aplicabilidade do perfil, que compara um conjunto formado pelos últimos valores medidos, com os que se encontram armazenados no perfil, para o mesmo instante de tempo.

Este mecanismo baseia-se no cálculo da diferença entre os dois valores e verificar se essa diferença é inferior a um valor percentual do valor armazenado no perfil. A importância da proximidade do valor medido com o valor armazenado é tanto maior quanto mais recente for a medida.

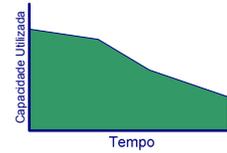
Esta verificação condiciona a conservatividade do algoritmo, tornando-se este mais conservativo quanto mais distante esteja a realidade, do perfil armazenado. No caso limite da realidade estar completamente em desacordo, o algoritmo apresenta um comportamento semelhante a um PBAC com ligeiras oscilações devidas ao perfil, nas ocasiões onde este seja uma aplicabilidade reduzida.

Após verificada a aplicabilidade do perfil, é então realizada uma observação dos valores futuros, armazenados no perfil, para verificar a tendência da utilização. O resultado desta observação conduz a uma opção tripla [AANQVoIP]:

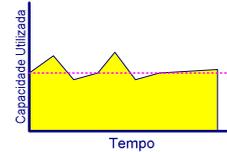
Aumento sustentado



Diminuição sustentada



Manutenção ou pequena variação



Estas opções permitem respectivamente reduzir, aumentar ou manter (respectivamente) o factor de *overbooking*, sendo o grau de modificação proporcional à variação observada no perfil.

O tamanho da janela de observação "futura" é um factor importante e a sua optimização está também associada ao número de divisões do próprio perfil. No modelo a simular, o tamanho da janela foi escolhido como fixo e múltiplo, da duração de uma divisão do perfil.

Este mecanismo de *overbooking* por si só, permite obter valores de capacidade efectivamente em utilização, próximos da capacidade total da ligação, o que do ponto de vista da eficiência do algoritmo, é o mais desejável. Porém, num ambiente onde se pretende providenciar QoS, este aumento de utilização só faz sentido enquanto os valores dos parâmetros de QoS estiverem dentro dos intervalos que definem as classes de tráfego disponíveis para a rede.

Por este motivo, a plataforma de monitorização realiza a aquisição de dados que permitem acompanhar o estado dos parâmetros de QoS na ligação. São então monitorados o atraso, *jitter* e a perda de pacotes, por forma a controlar a o mecanismo de admissão, bem como a manipulação do factor de *overbooking*, na presença de degradação dos parâmetros de QoS.

Uma situação de degradação de QoS leva a uma diminuição do factor de *overbooking*, forçando assim a rede a recusar pedidos, diminuindo a sobrecarga e por consequência permitindo o melhoramento das características de QoS disponíveis, à medida que as sessões vão libertando recursos. No caso em que os parâmetros de QoS estejam a aproximar-se perigosamente de níveis que

ultrapassem os limites definidos para as classes em questão, é necessário desactivar temporariamente o mecanismo de admissão, para que a rede recupere a estabilidade e SLAs não sejam quebrados. Ao atravessar para um estado mais estável, é de novo activado o mecanismo de admissão, agora com um factor de *overbooking* mais reduzido, o que permitirá a manutenção da estabilidade.

### 4.3.3 Geradores

As fontes de tráfego foram programadas com diferentes comportamentos, simulando diversos tipos de tráfego, com necessidades distintas umas das outras:

Para as fontes do tipo VoIP foi considerado um modelo de chamada que se serve do codec G.729B, muito utilizado pelos operadores de VoIP, devido ao seu baixo *bitrate* e às suas facilidades de detecção de actividade de voz, gerador de ruído de conforto e transmissão descontínua.

A concordância com a realidade foi atestada comparando os parâmetros especificados, com dados reais obtidos através da recolha de valores de uma rede onde é disponibilizado um serviço de VoIP empresarial de um operador português.

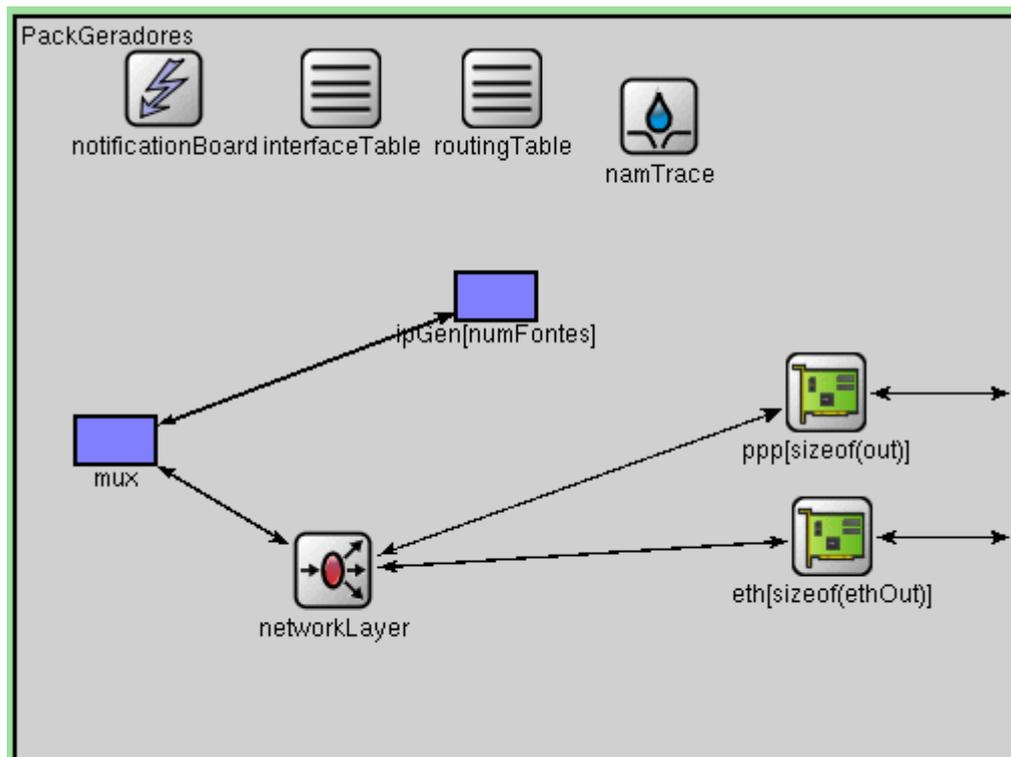
Para os geradores de tráfego IPTV foi escolhido também um modelo de acordo com os *streams* de video utilizados no serviço VoD IPTV de um operador português.

Tipo de Tráfego	Capacidade (bits/s)		Qualidade de Serviço		
	Pico	Média	Atraso (ms)	Jitter (ms)	Perdas
VoIP	8 K	3.4 K	100	20	$1 \times 10^{-3}$
VoD IPTV	4 M	3.5 M	400	-	$1 \times 10^{-3}$

**Tabela 10 - Parâmetros de QoS recomendados para um bom nível de QoS**

Os valores para a qualidade de serviço são os valores limite tidos como recomendados para um bom desempenho de serviço, disponíveis no documento Y.1541 do ITU-T.

A implementação destes geradores foi levada a cabo usando um dispositivo de nível 3, ao qual foi adicionado um agregador e um conjunto de elementos "IPTrafGen". Desta forma é possível ter um elemento "PackGeradores" que possua todos os geradores que partilhem características comuns, como os geradores VoIP ou os geradores de IPTV.



**Figura 19 - Estrutura de um grupo de geradores**

O modelo para as fontes de tráfego individuais é baseado no modelo "IPTrafGen" que foi estendido para permitir a configuração dos modelos de VoIP e IPTV. Os dois tipos de tráfego foram modelados por meio de um sistema on/off e de um sistema CBR, controlados por ficheiro de configuração onde foram distinguidas as duas situações descritas anteriormente – stream audio e stream vídeo

O tamanho dos pacotes a ser criados pelo gerador de tráfego IP não é o tamanho total do pacote que vai circular na rede. Os pacotes que circulam na redes possuem para além da informação proveniente do codec, cabeçalhos dos protocolos utilizados para encapsular essa informação. Pode-se então definir:

$$\text{Full Packet Size} = \text{Header PPP} + \text{Header IP} + \text{Header UDP} + \text{Header RTP} + \text{Payload G729}$$

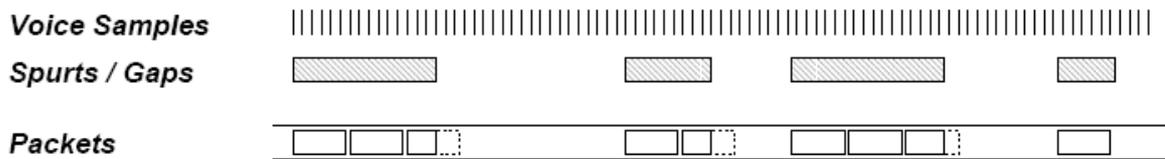
Dado que o gerador de tráfego se encontra ao nível IP, e que o tamanho médio dos pacotes gerados por este codec é de 69 bytes, é possível derivar a seguinte expressão:

$$\text{Payload IP} = \text{Full Packet Size} - \text{Header PPP} - \text{Header IP} = 69 - 7 - 12 = 42 \text{ bytes}$$

O intervalo entre pacotes é um parâmetro do codec, de aproximadamente 0,020 segundos; ao passo que a largura de banda média que a fonte vai apresentar pode ser descrita como:

$$LB\_Média = \frac{Full\_Packet\_Size}{Intervalo\_Entre\_Pacotes} = \frac{69}{0,020} = 27600bps = 3450Bps$$

Dado que este codec possui VAD (Voice Activity Detection), os períodos de actividade/inactividade da fonte durante uma chamada, vão ser probabilisticamente diferentes, dessa forma foram modelados segundo duas distribuições diferentes. É comum na literatura encontrar estes períodos modelados através da distribuição exponencial, mas foi demonstrado [CATAVS] que é mais correcto utilizar a distribuição Gamma para o período activo (*spurt*) e a distribuição de Weibull para o período recíproco (*gap*).



**Figura 20 - Modelo de operação de um Codec com VAD**

Consultou-se ainda o estudo de performance com tráfego VoIP [POTGR], de onde foi possível extrair valores para os parâmetros de média e desvio das distribuições Gamma e Weibull:

Período	Média	Desvio típico	Distribuição
ON	0,4011	0,3637	Gamma
OFF	0,5775	1,1774	Weibull

**Tabela 11 - Parâmetros de comportamento do codec G729**

Foi ainda utilizado o valor de 60 segundos como tempo médio de duração de uma chamada de VoIP [PVHSDPA].

O fluxo de IPTV possui características diferentes e heterogéneas; através de observações na rede de um operador conhecido, verificou-se que o tráfego apresenta características de *bitrate* constante e variável. Para os canais de televisão é utilizado tráfego CBR, enquanto que para o serviço de video-on-demand (VOD) o tráfego exhibe características VBR.

O comportamento VBR justifica-se uma vez que o serviço é levado a cabo sobre TCP, e este protocolo caracteriza-se entre outros factores, pela sua variação de débito, associada ao mecanismo de janelas, no controlo de transmissão. Por este motivo foi escolhido o tráfego do serviço VOD para a simulação.

Seguindo um raciocínio semelhante ao utilizado para o tráfego VoIP, foi calculado o tamanho do *payload* IP, tendo em conta que o tamanho total dos pacotes utilizados é de 1300 bytes:

$$Payload\ IP = Full\ Packet\ Size - Header\ PPP - Header\ IP = 1300 - 7 - 12 = 1281\ bytes$$

Dado que para este tipo de tráfego existe um fluxo contínuo de informação, ao contrário do que acontecia com o VoIP onde havia interrupção no envio de pacotes, o período ON e OFF não é aplicado.

Apresenta-se de seguida uma tabela de resumo dos parâmetros de configuração utilizados:

Parâmetro	VoIP	IPTV
Payload IP (B)	42	1281
Intervalo entre pacotes (s)	0.020	0.325
Pico declarado (bps)	27 600	4 000 000
Período ON (s)	Gamma(0.4144, 0.9678)	-
Período OFF (s)	Weibull(1.2680, 0.4554)	-
Duração da transmissão (s)	Exponencial(60)	Exponencial (5400)

**Tabela 12 - Parametros de configuração dos geradores**

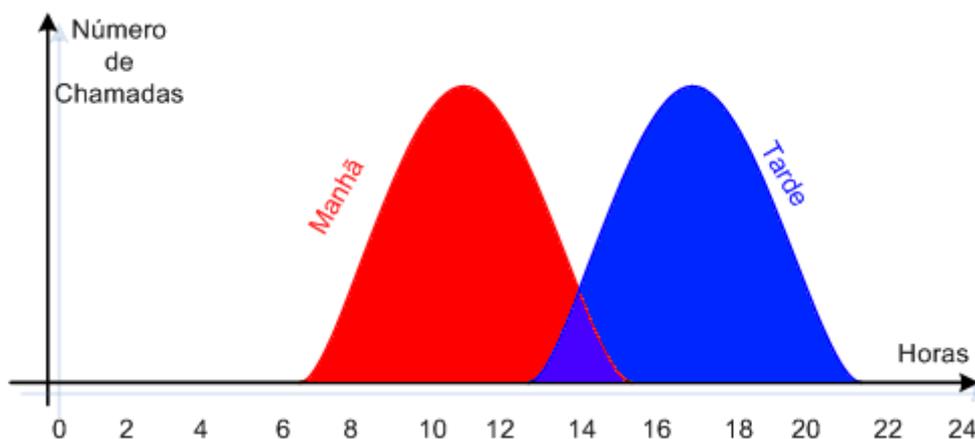
Foi ainda configurado um parâmetro de perfil, para agendamento de início de transmissão das fontes. Para obter um perfil característico semelhante ao real, apresentado na Figura 13 seria necessário implementar uma função de agendamento com um grau de complexidade considerável, pelo que se optou por aplicar o princípio da sobreposição e dividir o agendamento em dois grupos de fontes: um activo para o período da manhã e outro para o da tarde.

Cada um destes grupos tem como base, um gerador de números com base na distribuição Gaussiana, com diferentes parâmetros de entrada:

Parâmetro	Manhã	Tarde
Média	11:00	16:00
Desvio Padrão	2:00	3:00

**Tabela 13 - Parâmetros para o perfil de agendamento**

A distribuição conjunta dos dois tipos de gerador vai resultar no seguinte perfil.



**Figura 21 - Perfil conjunto dos geradores**

As fontes estão organizadas em grupos, existindo um grupo para as fontes de tráfego em aproximação VoIP e outro para as em aproximação IPTV. O número de fontes em cada grupo é configurável.

Antes de começar a gerar tráfego, cada uma destas fontes vai ter de obter autorização para o fazer, através de um processo de requisição de reserva de recursos.

Neste processo, as fontes enviam à rede um pedido de reserva, onde descrevem a largura de banda de pico que esperam consumir. A rede avalia este pedido, na entidade gestora de recursos e responde às fontes, com a autorização que estas necessitam para iniciar a transmissão.

O gestor de recursos é um módulo desenvolvido de raiz e que desempenha um conjunto reduzido de funcionalidades: organiza e mantém informação do estado da rede (capacidade reservada e capacidade efectivamente a ser utilizada); avalia os pedidos de recursos através do algoritmo de controlo de admissão. Tipicamente o gestor de recursos teria de efectuar configurações nos *routers*, uma vez que são estas entidades que policiam o tráfego que as fontes tentam injectar na rede. Dado que o ambiente de simulação é controlado, não existem utilizadores mal intencionados, logo a necessidade de policiamento deixa de existir.

#### **4.3.4 Nó destino**

Todas as ligações necessitam de uma origem e de um destino. Para funcionar como nó destino foi utilizado o módulo "IPTraGen", ao qual foram adicionados mecanismos de auxiliares, para registar dados intermédio utilizados no cálculo de métricas de QoS.

### **4.4 Aproximações e definições da implementação**

Para a implementação foram realizadas algumas aproximações e simplificações, com o intuito de reduzir o esforço computacional e por consequência aumentar o número de corridas do simulador.

Optou-se por realizar apenas a simulação em metade do dia, albergando apenas o período da tarde, que para efeitos de simulação possui um período de aumento de carga e um período de diminuição, que se revelam os momentos chave para o estudo.

A duração do dia de simulação foi então encurtada apenas para 6 horas, que permitem o englobar do período activo dos geradores de tráfego.

A diferença de largura de banda entre os pedidos de VoIP (aproximadamente 25 Kbps) e dos pedidos de IPTV (aproximadamente 4000 Kbps) é cerca de duas ordens de grandeza. Este facto obriga a que haja a necessidade de ter uma capacidade de ligação muito elevada para se observar interacção entre os tipos de tráfego; simulações teste com ligações de 1 Gbps ou 100 Mbps revelaram-se extremamente morosas devido à elevada duração do tráfego IPTV, que se concretiza na geração de um número tremendo de eventos. Por este motivo optou-se por apenas simular os pedidos VoIP.

Foi definido um período de *warm up* de 5 dias de simulação, para as simulações com perfil de tráfego, e de 1 dia para as do método determinístico.

A simulação foi definida como tendo duração de 15 dias de simulação, em adição ao período de *warm up*, o que resulta em 16 dias de simulação para o método determinístico e 21 dias de simulação para os métodos com *overbooking*.

A capacidade escolhida para a ligação foi de 1 Mbps, o que permite ter praticamente 15 reservas para chamadas VoIP em simultâneo. Foram configuradas 500 e 800 fontes no *pack* de geradores VoIP para a aplicação dos métodos determinístico e com *overbooking*, respectivamente, de forma a que fosse possível obter períodos de saturação da ligação em observação. No método com *overbooking* uma vez que se vai aceitar novas reservas, para a banda reservada mas não usada, o número de reservas em simultâneo será superior e variável. Com 500 fontes não foi possível obter rejeições, pelo que se aumentou para 800, o que já causou rejeições.

## **4.5 Mecanismos implementados**

Nesta secção descrevem-se os mecanismos implementados que capacitam o simulador de realizar as funcionalidades pretendidas. São ainda referidos aspectos particulares tidos em conta no desenvolvimento, tais como aproximações realizadas e opções tomadas.

### **4.5.1 Sinalização de reserva de recursos**

Foi implementado um mecanismo de sinalização explícita, que permite às fontes efectuarem um pedido de reserva de recursos, directamente ao gestor de recursos. Numa situação real este contacto directo não seria desejável já que constitui um acesso directo a um componente de administração da rede, o que levanta questões de segurança.

Dado o ambiente de simulação ser controlado, optou-se por diminuir a carga de processamento associada à utilização de um protocolo de sinalização de reservas dedicado, bem como o esforço de implementação, uma vez que não se encontrava nenhum disponível para utilização imediata.

No pedido de reserva, a fonte anuncia a sua taxa de pico e a sua identidade. A classe de serviço não é anunciada, porque apenas se supõe uma classe de serviço.

#### **4.5.2 Marcação de pacotes para medidas de QoS**

Ao saírem do terminal, os pacotes são marcados com um número de sequência e um *timestamp*, que será utilizado para cálculos de QoS, na entidade central de monitorização.

A identificação dos pacotes é levada a cabo por um objecto de *meta-data* disponível a todas as classes do OMNET. Este objecto permite o armazenamento de valores de qualquer tipo primitivo e o OMNETpp permite que este seja adicionado dinamicamente a qualquer objecto do simulador. A classe "msg" utilizada como tipo primitivo e da qual a classe para os datagramas IP é derivada, abre caminho a que se possa adicionar dinamicamente qualquer tipo de *meta-data*.

Neste campo foi então introduzido um número de identificação utilizado de forma a permitir a distinção entre datagramas e efectuar a localização dos mesmos, bem como a correspondência entre a localização e o instante temporal em que o datagrama se encontra num determinado local.

Desta forma é possível realizar os cálculos de QoS sem aumentar o tamanho do pacote a enviar, com esta informação, que ao ser transportado neste objecto auxiliar, não é contabilizado nos cálculos efectuados pelos elementos de rede.

#### **4.5.3 Monitorização de parâmetros de QoS**

A monitorização foi implementada, introduzindo mecanismos de contagem dos volumes de informação cursado pelo *router*, enviada pelas fontes e recebida no destino.

O gestor de recursos desempenha o papel de entidade central de monitorização, e os *routers*, as fontes e o destino, agem como elementos medidores.

#### 4.5.4 Aquisição de medidas necessárias para cálculos de QoS

O gestor de recursos possui ligações virtuais para todos os elementos de rede, o que lhe permite aceder a qualquer instante, ao resultado da monitorização que estes possam estar a efectuar.

Foi programado um agendamento cíclico, da tarefa de aquisição de medidas, com período 60 segundos, resultante em 1440 valores diários, de acordo com a Tabela 9.

#### 4.5.5 Cálculo de métricas de QoS

A verificação de que o sistema se encontra a operar dentro dos intervalos de QoS pretendidos, implica que é necessário obter métricas de QoS para os parâmetros que regulam os intervalos das classes, como o atraso, a variação de atraso e a perda de pacotes.

Para o cálculo do atraso, é computada a diferença entre o tempo de simulação no momento em que o pacote sai do gerador, e o instante em que o pacote chega ao seu destino. Este cálculo é realizado sobre um conjunto de pacotes, o que permite obter o valor médio e a sua variação (*jitter*).

O valor das perdas é obtido a partir da diferença entre pares de contadores <gerador, destino> que registam o número de pacotes enviados e recebidos, respectivamente. Dado que os pacotes possuem identificação, a sua localização e processamento é sempre possível e consegue-se facilmente obter o valor das perdas. Sendo este dado pela diferença entre o número de datagramas enviado por cada gerador, e o número de datagramas recebidos no destino, para esse gerador.

O número de identificação permite ainda efectuar a aquisição do instante em que o datagrama sai do gerador, bem como o instante em que finalmente chega ao seu destino. A diferença entre estes dois valores é o atraso sofrido pelo datagrama ao atravessar a rede.

Idealmente todos os fluxos seriam analisados, mas o custo computacional associado a este tipo de filosofia é demasiado elevado, pelo que se optou por realizar uma amostragem. Foi escolhido o método de amostragem temporal, com janela fixa, de valor igual a um minuto, que segundo a recomendação Y.1541, se apresenta como o valor padrão, para a medição de parâmetros de QoS desta natureza, na presença dos fluxos de tráfego em questão (VoIP).

Aplicando uma análise estatística ao atraso sofrido pelo datagrama, é possível calcular o valor médio deste e a variação do conjunto de valores recolhidos. Inicialmente foi aplicado um percentil 95 ao conjunto obtido, de forma a que

fossem eliminados os valores mais "anómalos". É muito usual a aplicação de um percentil como filtro passa-baixo do sistema de medições [CSMFNISV].

O método de percentil usado foi o que se encontra disponível na biblioteca *Gnu Scientific Library* (GSL) [GSL].

Verificou-se empiricamente que os valores obtidos com a aplicação do percentil e os que não sofriam a sua aplicação, eram praticamente idênticos, pelo que se optou por retirar este cálculo de natureza intensiva, do processamento, uma vez que os ganhos da sua utilização não se revelaram evidentes. Este facto resulta das condições de simulação serem bastante controladas e de factores inesperados que por vezes assombram as redes reais estarem ausentes.

#### **4.5.6 Cálculo de estatísticas de estado da rede**

Para além dos parâmetros de QoS obtidos através do procedimento descrito na secção anterior, são ainda calculadas estatísticas auxiliares.

O número de pedidos de reserva são contabilizados, bem como o resultado do pedido; estes valores são armazenados por *slice* do histograma.

O valor da largura de banda reservada e em efectiva utilização são também armazenados. Sendo que o valor da largura de banda reservada é aumentado pela função de atendimento dos pedidos de reserva. A redução deste valor está associada ao processo de fim de chamada; numa situação real, esta indicação deveria ser obtida da plataforma de medidas, uma vez que nem todos as aplicações têm a capacidade de sinalizar o fim de sessão. Como neste caso o ambiente de simulação é bastante controlado, foi implementado um mecanismo gracioso de fim de sessão onde os geradores sinalizam o gestor de recursos, uma vez terminada a sessão, o que permite a actualização do valor de largura de banda reservada.

A banda efectiva é dada por análise dos contadores de tráfego nos elementos medidores. A natureza deste valor é instantânea, pelo que a sua monitorização em intervalos de tempo pressupõe um mecanismo de tratamento dos valores instantâneos. Foi então escolhido um processo de obtenção por meio de valor médio, no decorrer de um intervalo de observação (60 segundos).

#### **4.5.7 Dimensionamento e inserção de dados no perfil**

O número de divisões do perfil foi dimensionado tendo em conta que o tamanho do dia de simulação seria de 6 horas. Ao subdividir o dia de simulação em 144 *slíces*, cada uma delas tem uma duração de 60 segundos.

A evolução do perfil é feita adaptativamente, recorrendo a um algoritmo baseado em média ponderada, para a inserção de novos valores:

$$Val_{perfil\_futuro} = (P_{perfil} \times Val_{perfil\_passado}) + (P_{medida} \times Val_{medida})$$

**Figura 22 - Actualização de valor no perfil**

Os valores dos parâmetros fixos  $P_{perfil}$  e  $P_{medida}$  regulam a sensibilidade a variações abruptas e pontuais, do algoritmo de actualização do perfil.

Foi escolhido um valor de 0.20 para o valor medido, o que resulta em 0.80 para o valor passado ( $P_{perfil} = 1 - P_{medida}$ ).

Dado que o peso dos valores novos é de um quinto, é necessário um período de *warm up* da simulação que se considerou satisfatório quando superior a 5 dias de simulação.

#### **4.5.8 Verificação de operação dentro da classe de QoS**

A correcta operação dentro da classe adequada para tráfego VoIP será, de acordo com a Tabela 10 de 0.100 segundos para o atraso; 0.020 segundos para a variação de atraso, e de 1 pacote perdido a cada 1000 (para a perda de pacotes).

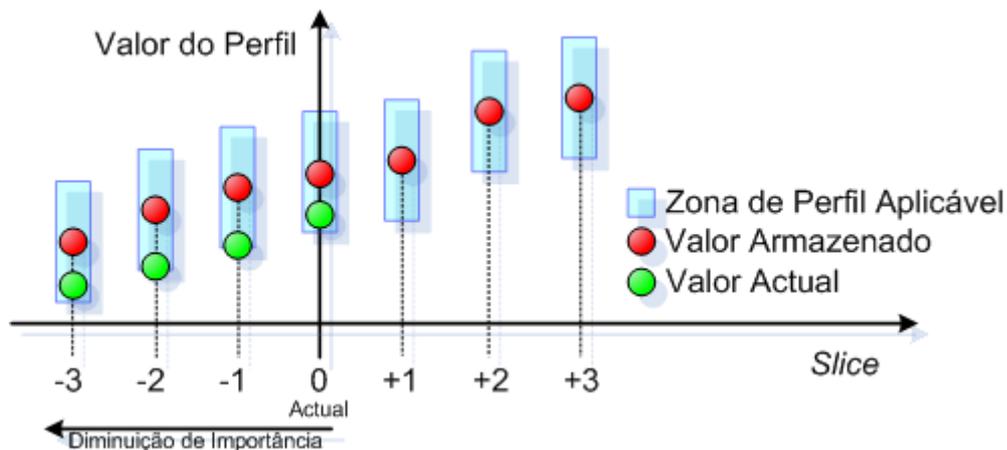
Uma vez na posse do valor actual dos referidos parâmetros, o gestor de recursos compara esse valor com um percentual do valor limite de cada parâmetro, respectivamente. Numa abordagem de três escalões, são tomadas acções correctivas de consequências proporcionais à proximidade do valor limite.

As acções correctivas são o aumento/redução do factor de *overbooking* e a inibição temporária da admissão.

#### **4.5.9 Verificação da aplicabilidade do perfil de tráfego armazenado**

O mecanismo de manipulação do factor de *overbooking* por meio de observação do perfil armazenado só faz sentido, no caso do tráfego em curso estar concordante com o perfil.

Desta forma é mantido um vector de valores para a utilização de rede, relativa aos últimos *slices* do histograma. Estes valores são comparados com os valores armazenados no perfil, para o mesmo instante temporal. A importância destes valores desvanece à medida que comparamos valores mais distantes no passado, do valor actual, que possui a maior importância.



**Figura 23 - Perfil de tráfego Aplicabilidade e Importância**

A não aplicabilidade do mecanismo, implica que o factor de *overbooking* não é alterado com base no perfil, sendo que fica apenas controlado pelos mecanismos de validação do correcto funcionamento da classe de QoS.

#### 4.5.10 Análise do perfil de tráfego armazenado

O tratamento do perfil armazenado está subdividido em duas etapas: cálculo da equação de aproximação por método de regressão e análise do declive da recta.

A análise por meio de regressão foi efectuada por meio do processo de optimização matemático denominado método dos mínimos quadrados. Existem diversos meios de efectuar o cálculo da recta de aproximação através deste método. A biblioteca de funções *gnu scientific library* [GSL] facultava uma primitiva que permite este cálculo; uma vez que já se estava a utilizar esta biblioteca para outras operações e pela qualidade que lhe é reconhecida, a escolha recaiu de novo sobre esta biblioteca.

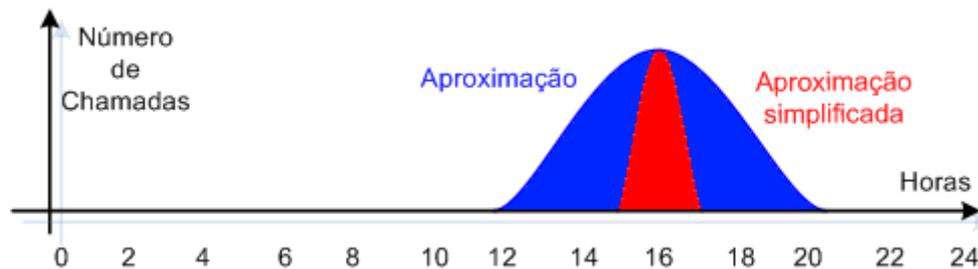
O dimensionamento do número de pontos a fornecer à primitiva, vai condicionar a utilidade e relevância do valor do declive. O número de valores está associado ao desvio utilizado como configuração do agendamento do das chamadas efectuadas pelas fontes, bem como à duração das chamadas.

Dado que foi utilizado um gerador de números com base na distribuição Gaussiana, foi possível passar os parâmetros de média e variância, que permitem controlar a localização do pico e a extensão da zona de maior probabilidade da distribuição. Este gerador de números serve para que os geradores de tráfego possam agendar a sua próxima transmissão.

Inicialmente foram especificados dois conjuntos de geradores, um que teria um perfil de agendamento com pico na manhã, e outro com pico na tarde; para

efeitos de demonstração do conceito, considerou-se que apenas um dos conjuntos seria suficiente, o que permite uma redução muito significativa dos requisitos computacionais.

Os valores que mapeariam com maior autenticidade seriam as 16 horas para pico e 3 horas para a variância. Rapidamente se verifica que uma variância tão elevada vai ter requisitos bastante elevados em termos computacionais, dado que seria preciso um grande número de fontes no sistema, sem um benefício evidente.



Equation 4 - Perfil de agendamento - simplificação

Desta forma optou-se por reduzir para 5 minutos o valor da variância, mantendo o valor de pico, o que permite verificar o comportamento do sistema para as regiões que se pretendem analisar (aumento e diminuição de carga).

## 4.6 Resultados

Nesta secção apresentam-se os resultados de simulações em duas abordagens distintas: determinista e com *overbooking*.

### 4.6.1 Método determinístico

Na abordagem determinística, o factor de *overbooking* é mantido constante, com valor unitário, no decorrer de todas as simulações. O mecanismo de verificação dos níveis de QoS na rede, pode inibir temporariamente a admissão, caso os valores dos parâmetros de QoS se aproximem da instabilidade, algo que não se espera, uma vez que a utilização da rede não vai alcançar valores muito elevados.

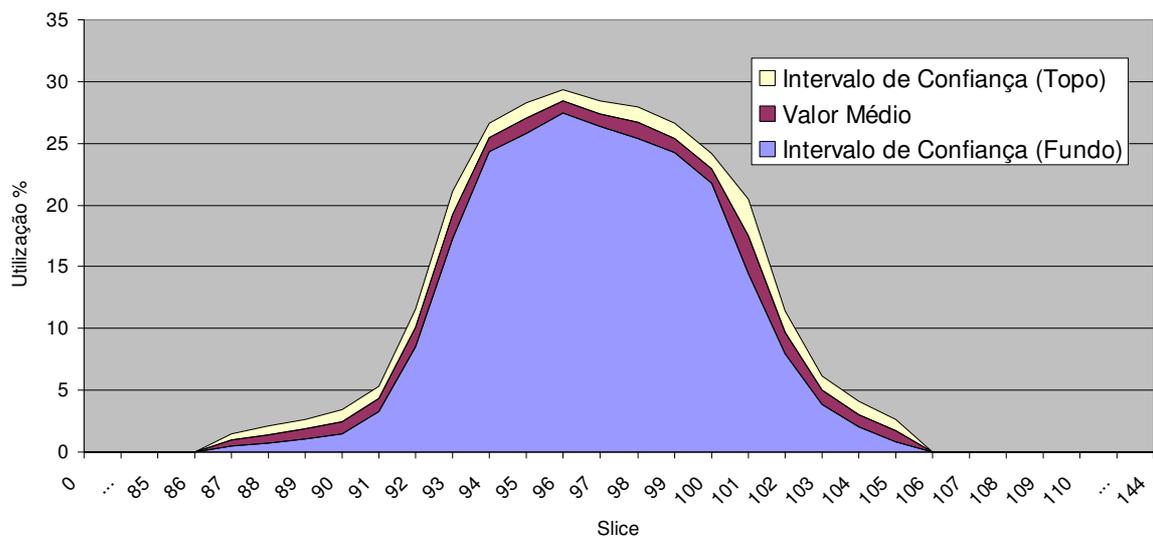
Foram então obtidos os seguintes valores:

Slice	Pedidos				LB Efectiva (kbps)		Utilização (%)	
	Aceites		Recusados		Médio	Desvio	Médio	Desvio
	Médio	Desvio	Médio	Desvio				
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
87	1,5	0,6	0,0	0,0	3,4	1,5	1,0	0,3
88	1,2	0,8	0,0	0,0	9,7	8,2	1,4	0,9
89	1,8	1,1	0,0	0,0	10,0	9,0	1,9	1,1
90	4,2	2,2	0,0	0,0	21,8	17,4	2,5	1,8
91	8,0	2,4	0,0	0,0	43,4	19,5	4,3	2,0
92	17,8	3,2	0,0	0,0	100,8	29,9	10,1	3,0
93	29,0	3,7	3,1	2,1	193,0	37,7	19,2	3,8
94	33,5	4,5	16,1	5,7	255,3	21,0	25,5	2,3
95	34,9	4,3	26,7	10,0	269,6	22,5	27,0	2,4
96	33,0	6,5	43,1	11,1	285,0	19,3	28,4	1,9
97	35,4	3,7	40,3	7,5	274,1	18,7	27,4	2,0
98	35,2	5,9	27,7	7,4	267,2	24,5	26,7	2,6
99	32,0	4,6	17,1	8,0	253,8	23,7	25,4	2,4
100	26,7	4,5	4,8	3,5	230,3	24,5	22,9	2,3
101	17,5	4,5	1,8	0,9	175,7	58,2	17,5	5,9
102	8,6	3,6	0,0	0,0	96,6	34,4	9,7	3,4
103	3,4	1,5	0,0	0,0	46,7	22,3	5,0	2,2
104	1,4	0,8	0,0	0,0	28,1	19,4	3,1	2,0
105	1,0	0,4	0,0	0,0	7,9	8,1	1,8	0,9
106	1,0	0,3	0,0	0,0	1,6	0,6	0,0	0,0
107	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
108	1,0	0,3	0,0	0,0	2,8	0,7	0,0	0,0
109	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
144	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

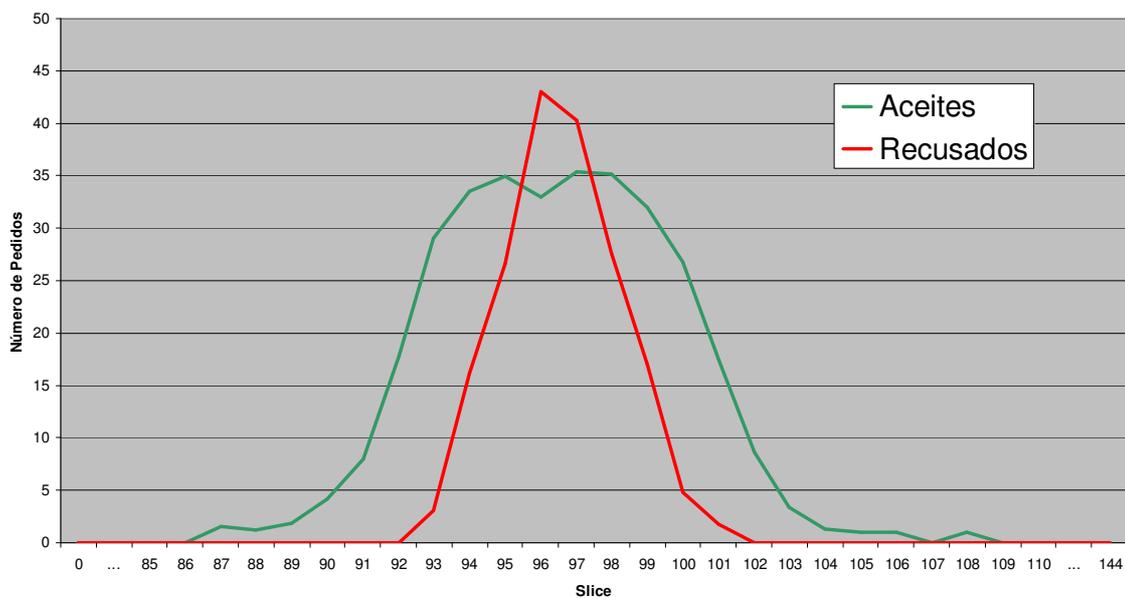
**Tabela 14 - Resultados para método determinístico**

Assinalado a azul celeste na figura pode-se encontrar a região onde começam a verificar-se rejeições de admissão, evidenciando que a capacidade reservada, alcançou a capacidade total da ligação.

A Tabela 14 permite traçar os seguintes gráficos de utilização da rede e resposta a pedidos de reserva de recursos:



**Figura 24 - Utilização de rede para método determinístico**



**Figura 25 - Resposta a pedidos de reserva de recursos para método determinístico**

A monitorização dos parâmetros de QoS, permitiu obter os seguintes valores:

Slice	Atraso (ms)		Jitter (ms)		Perdas	
	Médio	Desvio	Médio	Desvio	Médio	Desvio
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
...	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
86	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
87	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
88	0,558	0,196	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
89	0,558	0,272	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
90	0,558	0,288	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
91	0,562	0,233	0,202	0,099	9,60E-05	2,48E-05
92	0,584	0,049	0,176	0,103	0,00E+00	0,00E+00
93	0,592	0,080	0,197	0,110	2,22E-05	1,09E-05
94	0,623	0,113	0,216	0,148	1,77E-05	9,47E-06
95	0,653	0,147	0,356	0,207	1,28E-05	5,31E-06
96	0,705	0,234	0,285	0,229	1,47E-05	6,44E-06
97	0,614	0,075	0,283	0,209	1,19E-05	4,93E-06
98	0,586	0,062	0,175	0,116	1,30E-05	5,96E-06
99	0,725	0,251	0,322	0,202	1,36E-05	4,77E-06
100	0,662	0,156	0,278	0,155	2,42E-05	1,15E-05
101	0,631	0,138	0,283	0,207	3,66E-05	9,45E-06
102	0,589	0,089	0,193	0,131	0,00E+00	0,00E+00
103	0,575	0,162	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
104	0,565	0,201	0,221	0,057	0,00E+00	0,00E+00
105	0,558	0,288	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
106	0,558	0,144	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
...	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00

**Tabela 15 - Parâmetros de QoS para método determinístico**

De notar, de novo, a região assinalada a azul celeste, para quando se começam a registar rejeições na admissão.

#### **4.6.2 Método de exploração de padrões armazenados em perfis de tráfego (com *overbooking*)**

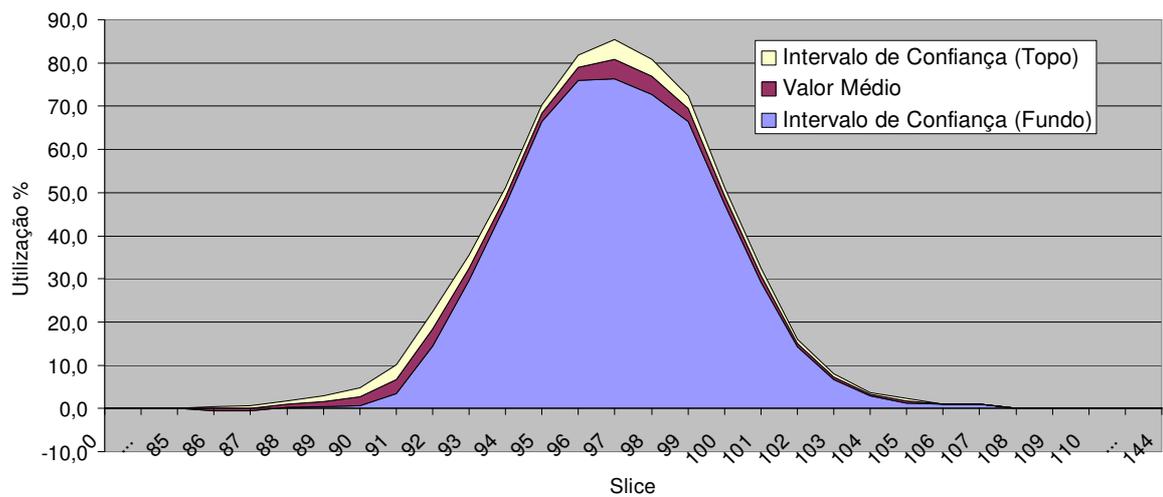
O método com *overbooking* considera um valor variável para o factor de *overbooking*. Este factor vai ser manipulado tanto pelo mecanismo de verificação dos níveis de QoS, como pelo mecanismo de observação do perfil de tráfego armazenado. A inibição temporária de admissão pode, como no caso determinístico, ser activada pelo mecanismo de verificação dos níveis de QoS.

Slice	Pedidos				LB Efectiva (kbps)		Utilização (%)	
	Aceites		Recusados		Médio	Desvio	Médio	Desvio
	Médio	Desvio	Médio	Desvio				
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
87	1,0	0,3	0,0	0,0	1,9	0,5	0,0	
88	1,4	0,8	0,0	0,0	3,9	2,6	1,0	
89	3,0	2,2	0,0	0,0	13,3	9,3	1,6	
90	5,4	1,7	0,0	0,0	27,6	14,4	2,8	
91	15,1	3,4	0,0	0,0	67,5	26,4	6,8	
92	29,2	7,5	0,0	0,0	184,8	43,2	18,4	
93	49,1	8,6	0,0	0,0	325,6	68,0	32,6	
94	77,3	8,6	1,0	0,3	491,1	82,0	49,1	
95	96,7	8,6	4,2	2,8	684,5	60,9	68,4	
96	103,6	4,5	15,8	9,8	790,2	41,6	78,9	
97	102,5	8,9	17,3	9,9	808,4	39,2	80,9	
98	95,2	5,2	8,6	6,5	768,7	60,2	76,8	
99	75,6	10,0	6,0	4,7	694,5	92,1	69,4	
100	49,5	6,8	0,0	0,0	491,8	82,3	49,2	
101	29,8	5,5	0,0	0,0	308,6	59,1	30,9	
102	14,6	3,6	0,0	0,0	150,6	38,7	15,1	
103	6,1	2,5	0,0	0,0	73,5	33,0	7,3	
104	2,5	1,4	0,0	0,0	31,4	17,4	3,3	
105	1,2	0,7	0,0	0,0	13,4	10,4	1,8	
106	1,2	0,6	0,0	0,0	6,8	4,7	1,0	
107	1,0	0,3	0,0	0,0	5,4	2,3	1,0	
108	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
109	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
144	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

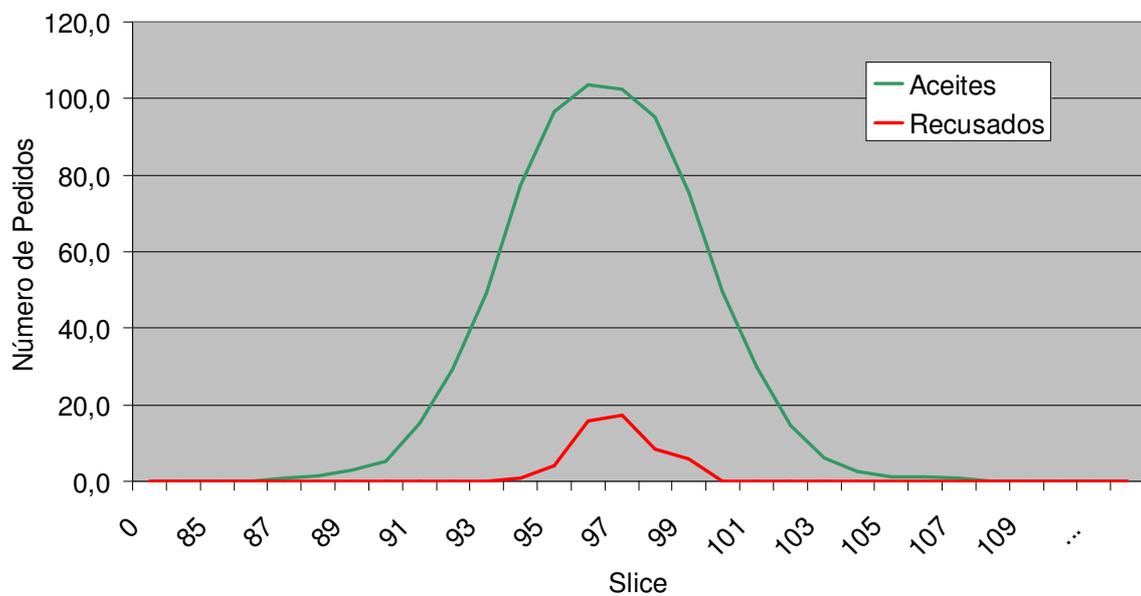
**Tabela 16 - Resultados para método com overbooking**

Mais uma vez , a região assinalada a azul celeste, evidencia as alturas em que se começam a registar rejeições na admissão.

A Tabela 16 permite traçar os seguintes gráficos de utilização da rede e resposta a pedidos de reserva de recursos:



**Figura 26 - Utilização de rede para método com overbooking**



**Figura 27 - Resposta a pedidos de reserva de recursos para método com overbooking**

A monitorização dos parâmetros de QoS resultou nos dados seguintes (Tabela 17), onde as linhas a azul celeste denotam os momentos em que se começaram a registar rejeições:

Slice	Atraso (ms)		Jitter (ms)		Perdas	
	Médio	Desvio	Médio	Desvio	Médio	Desvio
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
...	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
86	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
87	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
89	0,558	0,225	0,000	0,000	2,73E-04	6,82E-05
90	0,558	0,286	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
91	0,559	0,140	0,152	0,074	0,00E+00	0,00E+00
92	0,626	0,126	0,194	0,162	2,09E-05	7,63E-06
93	0,612	0,061	0,335	0,187	1,78E-05	8,69E-06
94	0,752	0,398	0,364	0,235	1,08E-05	6,01E-06
95	1,599	1,855	3,600	6,984	1,09E-05	6,16E-06
96	90,860	135,248	14,455	23,134	4,28E-04	1,01E-03
97	54,191	78,839	11,014	8,699	9,20E-04	1,66E-03
98	39,148	57,611	17,382	41,843	1,87E-03	2,55E-03
99	34,830	113,436	7,202	7,553	1,06E-04	9,78E-05
100	0,984	0,399	1,641	3,431	5,43E-06	2,19E-06
101	0,674	0,116	0,369	0,190	8,57E-06	3,45E-06
102	0,616	0,171	0,171	0,110	1,49E-05	6,02E-06
103	0,574	0,153	0,271	0,114	9,63E-05	2,41E-05
104	0,563	0,023	0,000	0,000	5,89E-05	1,47E-05
105	0,558	0,249	0,178	0,045	0,00E+00	0,00E+00
106	0,558	0,267	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
107	0,558	0,139	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
...	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00

Tabela 17 - Parâmetros de QoS para método com overbooking

## 4.7 Análise de resultados

Nesta secção procede-se a uma análise dos resultados obtidos para os três tipos de simulação realizados.

### 4.7.1 Método Determinístico

Na Figura 24 pode-se verificar que o valor máximo alcançado pela taxa de utilização de rede é 28%. Este valor não corresponde à capacidade total da ligação, logo poder-se ia argumentar que o número de fontes poderia ser insuficiente para ocupar a totalidade da capacidade, mas uma análise ao número de pedidos rejeitados (Figura 25) mostra que existem pedidos rejeitados, o que traduz que a capacidade reservada alcançou a capacidade total da ligação (Equação 2), forçando o sistema a recusar os pedidos de admissão.

Este valor de utilização ilustra o pressuposto de que existe capacidade que se encontra reservada e não está a ser efectivamente utilizada (cerca de 70% da capacidade total).

Como se pode verificar na [Tabela 15] os parâmetros de QoS encontram-se dentro do intervalo estipulado para a classe de serviço dos pedidos efectuados (Tabela 10, linha correspondente ao tráfego VoIP).

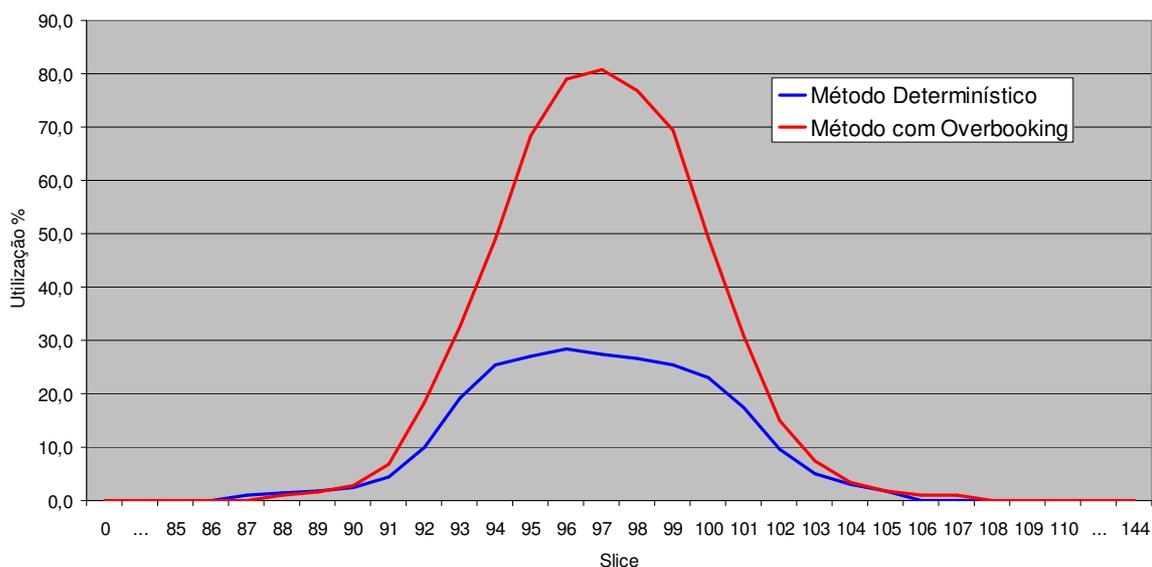
#### **4.7.2 Método de exploração de padrões armazenados em perfis de tráfego (com *overbooking*)**

Os resultados obtidos revelam uma melhoria significativa na utilização de rede (Figura 26), sendo agora alcançado um valor de utilização na ordem de 70% a 80% da capacidade total da ligação. Nos instantes de maior tráfego verifica-se também um incremento no valor de pedidos admitidos e uma redução dos pedidos recusados, como se pode observar na Tabela 16.

Como se pode verificar na [Tabela 17] os parâmetros de QoS encontram-se dentro do intervalo estipulado para a classe de serviço dos pedidos efectuados (Tabela 10, linha correspondente ao tráfego VoIP), embora se verifique um aumento, quando comparados com os resultantes do método determinístico.

#### **4.7.3 Discussão**

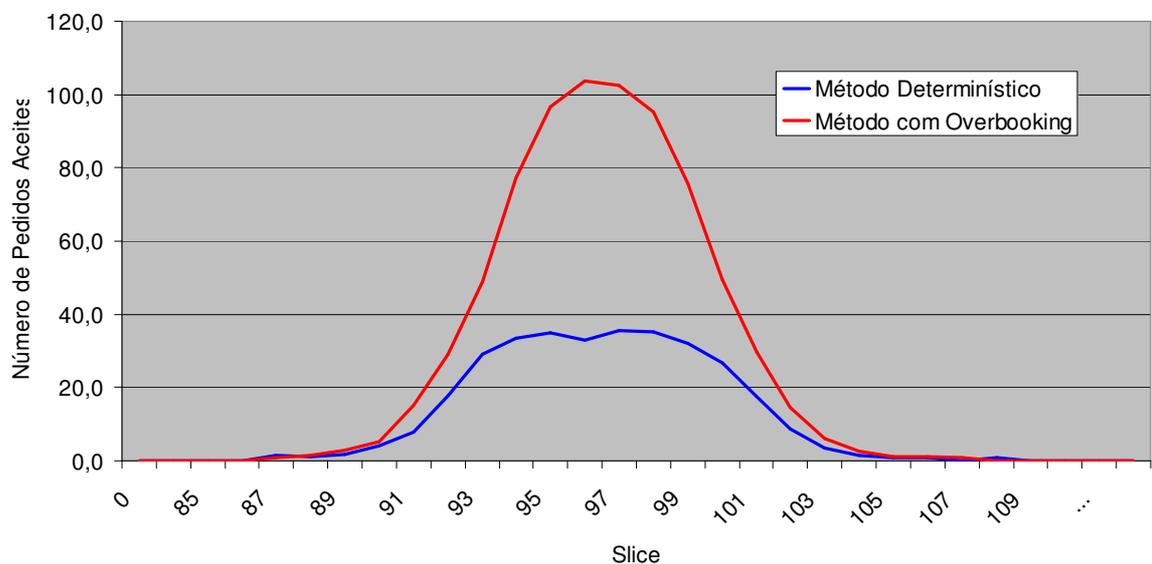
Como seria de esperar, o método determinístico apresenta uma menor taxa de utilização do que o método de exploração de padrões armazenados em perfis de tráfego (Figure 28). Este facto deve-se a que o valor anunciado pelas fontes de tráfego não corresponde ao que efectivamente utilizam.



**Figure 28 - Comparação da utilização de rede**

Por outro lado, o mecanismo que aplica *overbooking* consegue um aumento de utilização uma vez que permite a admissão de fluxos quando a capacidade reservada já alcançou a capacidade da ligação.

O número de admissões aumenta também com a aplicação do método com *overbooking*, como se pode verificar na Figura 29.



**Figura 29 - Comparação do número de pedidos aceites**

O controlo do factor de *overbooking* é levado a cabo pelo mecanismo de consulta do perfil, mantendo eficazmente os valores dos parâmetros de QoS

dentro do intervalo predefinido para a classe de serviço escolhida como se pode verificar em ambas as tabelas (Tabela 15 e Tabela 17).

O aumento de valor para a utilização de rede é significativo (de 30% a 50%), e poderia ser maior, caso se tivesse utilizado uma capacidade de ligação superior. Uma ligação típica de 100 Mbps ou 1 Gbps comportariam um número bastante superior de pedidos, aumentando assim a banda reservada mas não utilizada e consequentemente, a diferença entre os dois métodos.

Outro factor de destaque, que acabou por se revelar surpreendente, foi a eficiência do codec G729, que revelou uma forte capacidade de minimização de débito. Esta capacidade permitiu um ganho de perto de 70%, traduzido pela diferença entre a taxa de utilização e a capacidade total.

A escolha deste codec prendeu-se com a tentativa de fazer um paralelo com um caso de estudo real, do qual se puderam obter valores; a escolha de um codec menos eficiente, como o conhecido G711, ou o G729 normal, apresentaria certamente diferenças menores entre os dois métodos, uma vez que o ganho do codec seria mais reduzido, aproximando o débito efectivo do débito anunciado.

No decorrer da implementação, verificou-se que para valores de utilização superiores a 85%, as condições de QoS de que os fluxos são alvo, começam a tornar-se bastante difíceis de controlar, sendo que para cima de 90% os parâmetros de QoS ultrapassavam constantemente os valores limite. Por estes motivos, uma utilização entre 80% e 85% seria um bom valor para definir como meta, para o algoritmo.

## 5 Conclusões

Existe uma visível evolução na taxa de utilização, quando se utilizam mecanismos de *overbooking*. A regulação do factor de *overbooking* através de um mecanismo de consulta de perfil de tráfego, permite lidar proactivamente com situações de sobrecarga, que mantenham padrões de sazonalidade.

Taxas de utilização com valores bastante elevados colocam grandes dificuldades no dimensionamento dos factores correctivos, uma vez que diminuem a margem de manobra destes. Quando a rede opera em níveis de utilização superiores a 85%, torna-se bastante difícil manter os parâmetros de QoS em níveis aceitáveis.

A introdução de mecanismos que permitam *overbooking*, provoca um aumento de complexidade de processamento na rede, com especial foco no gestor de recursos. O impacto na escalabilidade manifesta-se na medida em que um gestor de recursos terá um número máximo de *routers* e ligações que poderia gerir eficazmente, o que obrigaria a um planeamento arquitectural com mais profundidade, na definição das zonas de acção dos gestores.

Existem métodos mais distribuídos para realizar o controlo de admissão, passando o controlo para os *routers*, contudo a evolução das redes está a deslocar-se na direcção da personalização dos serviços e na exploração de elementos de contexto dinâmicos; a análise e usufruto desta informação (personalização, políticas, contexto, etc...) requer uma grande capacidade de processamento, o que se evidencia como sendo um custo bastante elevado, quando se pretende capacitar entidades mais periféricas, em número bastante mais elevado.

Para além do factor capacidade de processamento, o modelo mais centralista permite lidar com questões de segurança da informação que se colocam em casos como reservas inter-domínio ou ainda a separação dos mecanismos de aplicação de decisões, em entidades distintas das que as tomam.

A aplicação deste tipo de mecanismo de gestão de recursos em cenários com variadas classes de tráfego, possibilita que em determinados períodos do dia, o gestor possa ajustar os parâmetros de QoS ou a distribuição de banda de cada classe mediante o tipo de carga a que a rede esteja sujeita. Tornando dinâmica e preditiva a forma como as classes interagem entre si.

Os mecanismos de exploração de *overbooking* por análise de perfil de tráfego mostram-se bastante interessantes e de aplicação frutuosa, em áreas de acção onde os padrões comportamentais sejam mais evidentes, tal como zonas industriais, zonas residenciais, etc... A sua utilização em zonas onde os padrões

não sejam tão evidentes não trará resultados tão pronunciados, mas ainda assim, positivos.

## 5.1 Trabalhos futuros

Nesta secção descrevem-se questões que surgiram no decorrer deste projecto e que poderiam ser abordadas numa extensão da investigação.

- **Introdução de outro nível hierárquico na gestão de recursos:**

Estudar até que ponto seria útil distribuir funcionalidades de CAC nos *routers* (área a vermelho na Figura 30). A caracterização do perfil de utilização poderia ser feita a nível do *router* introduzindo assim um nível hierárquico adicional.

Outra possibilidade seria criar uma camada de gestão intermédia (área a verde na Figura 30), que permitisse aos QoSBr controlarem menos *routers* e consequentemente aumentarem a sua disponibilidade computacional, permitindo assim uma complexidade superior aos mecanismos de gestão.

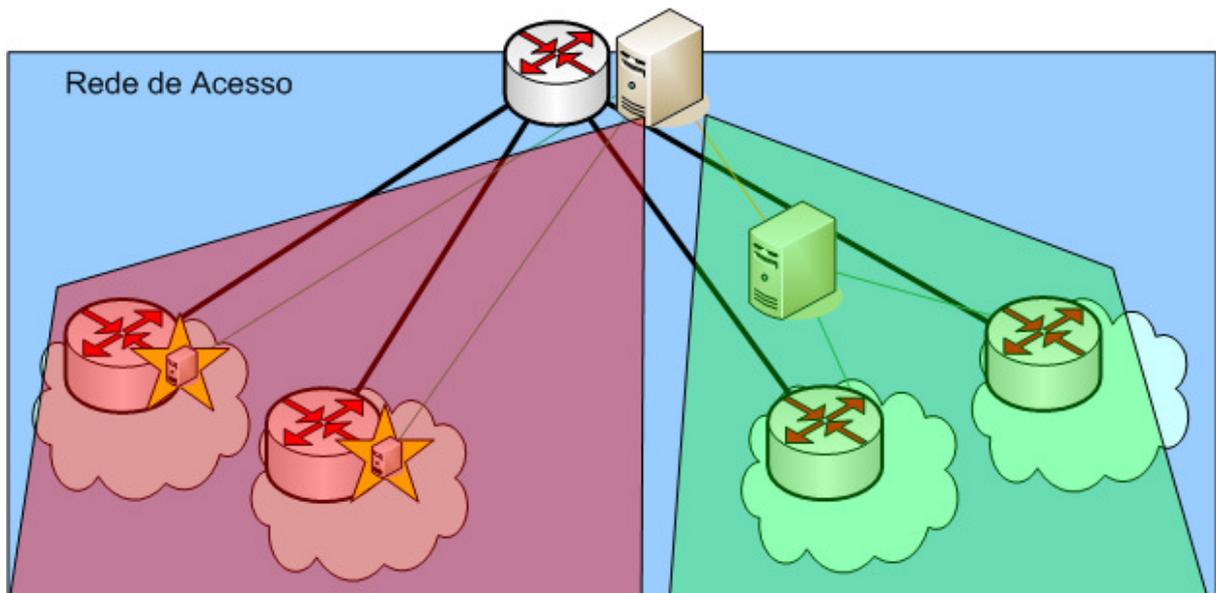


Figura 30 - Níveis hierárquicos adicionais

A evolução da arquitectura ETSI TISPAN sugere a introdução de outro nível, pelo que seria interessante estudar o impacto desta expansão.

- **Estudar o impacto de um perfil diário, por oposição a um bi-semanal**

A nível semanal é possível distinguir claramente dois perfis, sendo um durante a semana de trabalho e outro durante o fim-de-semana. Será que é possível

explorar a introdução de perfis diários e tirar ganhos em termos de previsão / utilização?

Este factor é fortemente viabilizado pela introdução de outro nível hierárquico e aumento da disponibilidade computacional

- **Verificar a viabilidade para o cálculo de um factor de *overbooking* que tenha em conta tipos específicos de pedidos**

O factor de *overbooking* é calculado independentemente do tipo de pedido, seja para uma chamada VoIP, que tem características estruturais distintas de um VoD ou de outros tipos de tráfego.

Qual o custo e benefício para o sistema, da introdução de um mecanismo que fizesse uma gestão da duração das reservas com base no tipo de pedido, e que calculasse o factor de *overbooking* com recurso a esta informação.

- **Estudar o impacto que mecanismos de promoção / degradação de fluxos, possam causar aos fluxos já em curso**

Mecanismos de promoção e degradação das classes de tráfego associadas aos fluxos, possibilitam que o gestor possa tirar partido temporariamente de recursos reservados para classes superiores, de forma a multiplexar fluxos, aumentando a taxa de utilização da rede.

Este procedimento poderá ter um impacto demasiado significativo nas outras classes, que deverá ser estudado.

Será eticamente correcto dar tratamento semelhante, aos fluxos de clientes que estarão a pagar menos, só para aumentar a taxa de utilização das ligações?

- **Comparar a performance de mecanismos com base em análise de perfil de tráfego e em mecanismos estritamente baseados em medidas menos agressivos**

Um mecanismo por análise de perfil requer menos esforço computacional por parte do gestor de recursos e menos requisitos de tempo-real da plataforma de monitorização.

Quando é que um mecanismo deixa de ser mais vantajoso do que o outro?



## 6 Referências

- [AANQVoIP] - I. Miloucheva<sup>1</sup>, A. Nassri<sup>2</sup>, A. Anzaloni<sup>3</sup> - Automated analysis of network QoS parameters for Voice over IP applications – 2004 - IPS 2004
- [ACUMNN] - C. Tham, W. Soh - ATM Call Admission Control Using Modular Neural Networks – 1997 – Infocom 1998
- [APCLATO] - Feng Huang, Casey Deccio, Robert Ball, Mark Clement, Quinn Snell – A Piecewise Linear Approach to Overbooking – 2004 - High Performance Switching and Routing, 2004
- [ASPNMCG] - Jouni Smed, Timo Kaukoranta, Harri Hakonen - Aspects of Networking in Multiplayer Computer Games - 2001
- [ASSCWQM] – Casey K. Fung, P.C.K. Hung, Guijun Wang, Richard C. Linger, Gwendolyn Walton – A Study of Service Composition with QoS Management – 2005 – ICWS 2005
- [ATOR] - R.Ball, M.Clement, F.Huang, Q.Snell, C.Deccio - Aggressive Telecommunications Overbooking Ratios – 2004 - Performance, Computing, and Communications, 2004 IEEE International Conference
- [BISDNCNN] - J.Neves,L.Almeida,M.Leitao - B-ISDN CAC and routing strategy with traffic prediction by neural networks – 1994 - IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, Los Angeles, 1994
- [CATAVS] – Boris Bellalta, Miquel Oliver, David Rincon - Capacity and Traffic Analysis of Voice Services over GPRS Mobile Networks - 2002
- [CPMBAC] - L. Breslau, S. Jamin, S. Shenker - Comments on the Performance of Measurement-Based Admission Control Algorithms - n Proc. of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM) - March 2000
- [CSMFNISV] – Tanja Zseby – Comparison of Sampling Methods For Non Intrusive SLA Verification - E2EMON 2004
- [DIMITRI] - Dimitrios Miras - A survey on Network QoS Needs of Advanced Internet Applications - University College London, 2002,
- [EACAIAP] - L.Breslau, E.Knightly, S.Shenker, I.Stoica, H.Zhang - Endpoint Admission Control - Architectural Issues and Performance - 2000
- [EACMFBB] – C. Bouras, K. Stamos – Evaluating admission control modules for bandwidth brokers in Diffserv using ns-2 - 2006 - *13th International Conference on Telecommunications, Madeira Island, Portugal*,
- [EBACASACM] - J. Milbrandt, M. Menth, S. Oechsner - EBAC – A Simple Admission Control Mechanism - in Proc. of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP) - October 2004.
- [EBACWTSO]- Jens Milbrandt, Michael Menth, Jan Junker - Experience-Based Admission Control with Type-Specific Overbooking – 2006 - *Autonomic Principles of IP Operations and Management* - Springer
- [EBIPOTC] - J.Milbrandt, M.Menth, J.Junker – Experience based admission control in the presence of traffic changes – 2007 – Academy Publisher Journal of communications vol 2 , n1, January 2007
- [ETSI ETR003] - ETSI, “Network Aspects (NA); General Aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP),” Tech. rep. ETR003, 2nd ed. - 1994
- [EXPBAC] - M. Menth, J. Milbrandt, S. Oechsner – Experience Based Admission Control (EBAC) - in Proc. of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC) - June 2004

- [FACFDSAN] - J.Lakkakorpi - Flexible Admission Control for Diffserv Access Networks – 2003 - Proceedings of SPIE ITCOM 2003, Performance and Control of Next-Generation Communication Networks
- [IEBTTA] - J.Milbrandt, M.Menth, J.Junker - Improving EBAC through traffic-type awareness – 2007 – Academy Publisher – Journal of Networks, vol 2, n2, April 2007
- [ITU E800] - ITU-T Rec. E.800 - Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability - 1993
- [ITU G1000] - ITU-T Rec. G.1000 - Communications Quality of Service: A Framework and Definitions - 2001
- [ITU P862] – ITU-T P.862 - Perceptual evaluation of speech quality, 2001
- [ITU Y1540] – ITU-T Y.1540 - IP packet transfer and availability performance parameters, 2002
- [ITU Y1541] – ITU-T Y.1541 - Network performance objectives for IP-based Services, 2006
- [LAANCAC] - A.Vasilakos,N.Loukas,A.Atlasis - The use of learning algorithms in ATM networks call admission control problem – 1995 - Local Computer Networks, 1995., Proceedings IEEE 20<sup>th</sup> Conference
- [MARKCL] – M. Claypool, D. LaPoint, J. Winslow - Network Analysis of Counter-strike and Starcraft – Performance, Computing, and Communications Conference. Conference Proceedings of the 2003 IEEE
- [MBCAC] - R. Gibbens, F. Kelly - Measurement-Based Connection Admission Control - in Proc. of International Teletraffic Congress (ITC), June 1997
- [MUSEMA1.3] – Muse M A1.3 – From application to network requirements - 2004
- [NADERFMIR] – NADER F. MIR – Computer and Communication Networks – Prentice Hall, 2006
- [NDPAAC] - P.Marbach, J.Tsitsiklis - A Neurodynamic programming approach to Admission Control – 1997 - Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997. ICASSP-97., 1997 IEEE International Conference
- [NNBCAH] - J.Hah, P.Tien, M.Yuang - Neural-network-based Call Admission Control in ATM networks with heterogeneous arrivals – 1996 - Local Computer Networks, 1996., Proceedings 21<sup>st</sup> IEEE Conference
- [NQNOAIA] – Dimitrios Miras, Amela Sadagic, Ben Teitelbaum, Jason Leigh - Network QoS Needs of Advanced Internet Applications - 2002
- [PBACFDSN] - M. Fidler, V. Sander - A parameter based admission control for Diffserv Networks - 2004
- [POZAR] - Pozar, David M. - Microwave engineering – John Wiley And Sons, 2nd Edition 1997
- [PFERG] – Paul Ferguson,Geoff Huston - Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks - John Wiley & Sons, 1st Edition 1998
- [POTGR] – B. Bellalta, M. Oliver, D. Rincón – Performance of the GPRS RLC/MAC protocols with VoIP traffic – IEEE 2002
- [PWTFMPSP0] - Michael Menth, Stefan Muehleck - Packet Waiting Time for Multiplexed Periodic On/Off Streams in the Presence of Overbooking - 2007
- [PVHSDPA] – B. Wang, K. Pedersen, T. Kolding, P. Mogensen – Performance of VoIP on HSDPA – 2005 - Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61<sup>st</sup>
- [QSPEC] – G. Ash, A. Bader, C. Kappler, D. Oran - QoS NSLP QSPEC Template – IETF Internet draft 2007

- [RAJIVC] – Rajiv Chakravorty, Maurizio D'Arienzo, Ian Pratt, Jon Crowcroft – A Framework for Dynamic SLA-based QoS Control for UMTS – 2003 - Wireless Communications, IEEE
- [RFC 1633] - R. Braden, D. Clark, S. Shenker - Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview - 1994
- [RFC 1889] - H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson – RTP a transport protocol for real-time applications - 1996
- [RFC 1930] – J. Hawkinson, T. Bates – IETF RFC 1930 - Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System - 1996
- [RFC 2205] – L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin – IETF RFC 2205 - Resource ReSerVation Protocol - 1997
- [RFC 2210] – J. Wroclawski - The use of RSVP with IETF Integrated Services – IETF RFC 2210 - 1997
- [RFC 2215] – S. Shenker, J. Wroclawski, - IETF RFC 2215 - General Characterization Parameters for Integrated Service Network Elements - 1997
- [RFC 2327] - M. Handley, V. Jacobson - SDP: Session Description Protocol - 1998
- [RFC 2475] – S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss - An Architecture for Differentiated Services - 1998
- [RFC 2597] – J. Heinanen, T. Finland, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski - Assured Forwarding PHB Group - 1999
- [RFC2638] – K. Nichols, L. Zhang - A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet - 1999
- [RFC 2748] – D. Durham, J. Boyle, R. Cohen, S. Herzog, R. Rajan, A. Sastry - The COPS (Common Open Policy Service) Protocol - 2000
- [RFC 2998] - Y. Bernet, P. Ford, R. Yavatkar, F. Baker, L. Zhang, M. Speer, R. Braden, B. Davie, J. Wroclawski, E. Felstaine - A Framework for Integrated Services Operation over Diffserv Networks - 2000
- [RFC 3246] - B. Davie, A. Charny, J. Bennett, K. Benson, J. Le Boudec, W. Courtney, S. Davari, V. Firoiu, D. Stiliadis - An Expedited Forwarding PHB - 2006
- [RFC 3261] - J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler - SIP: Session Initiation Protocol - 2002
- [RFC 3550] - H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson – RTP a transport protocol for real-time application - 2003
- [RFC 3588] – P. Calhoun, J. Loughney, E. Guttman, G. Zorn, J. Arkko – DIAMETER Base Protocol - 2003
- [RNMCG] - Jouni Smed, Timo Kaukoranta, Harri Hakonen – A Review on Networking and Multiplayer Computer Games – 2002 - Turku Centre for Computer Science - TUCS Technical Report No 454 - April 2002
- [SMBACFDS] – J. Lakkakorpi – Simple measurement based admission control for diffeserv access networks – 2002 - Proceedings of SPIE ITCOM 2002, Internet Performance and Control of Network Systems III
- [STATMUX] – John G. Proakis - Wiley Encyclopedia of Telecommunications - John Wiley And Sons, 2003
- [TISPAN FARC] - ETSI ES 282 001 – NGN functional architecture release 1, 2005
- [TISPAN GQL] - ETSI TS 183 017 – Resource and admission control: DIAMETER protocol for session based policy set-up information exchange between the AF and the SPDF - 2006
- [VOIPBWC] – Newport Networks – VoIP Bandwidth Calculation white paper – 2005

[3GPP] – 3rd Generation Partnership Project	
<a href="http://www.3gpp.org">http://www.3gpp.org</a>	[Abril de 2008]
[CAIDAMWG] – CAIDA Metrics Working Group	
<a href="http://www.caida.org">www.caida.org</a>	[Abril de 2008]
[DAIDALOS] – IST DAIDALOS	
<a href="http://www.ist-daidalos.org">http://www.ist-daidalos.org</a>	[Abril de 2008]
[FP6] – Framework Programme 6	
<a href="http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm">http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm</a>	[Abril de 2008]
[GSL] – Gnu Scientific Library	
<a href="http://www.gnu.org/software/gsl/">http://www.gnu.org/software/gsl/</a>	[Abril de 2008]
[NSIS] – IETF Next Steps in Signaling Charter	
<a href="http://www.ietf.org/html.charters/nsis-charter.html">http://www.ietf.org/html.charters/nsis-charter.html</a>	[Abril de 2008]
[NSIM] – Network Simulator-2	
<a href="http://nstram.isi.edu/nstram/index.php/Main_Page">http://nstram.isi.edu/nstram/index.php/Main_Page</a>	[Abril de 2008]
[OMNET] – OMNeT++ Discrete event simulation system	
<a href="http://www.omnetpp.org/">http://www.omnetpp.org/</a>	[Abril de 2008]
[OPNET] – OPNET Modeler	
<a href="http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html">http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html</a>	[Abril de 2008]
[SOAP] – Service Oriented Architecture Protocol	
<a href="http://www.w3.org/TR/soap/">http://www.w3.org/TR/soap/</a>	[Abril de 2008]
[IPFIX] – Internet Protocol Flow Information eXport	
<a href="http://www.ietf.org/html.charters/ipfix-charter.html">http://www.ietf.org/html.charters/ipfix-charter.html</a>	[Abril de 2008]
[SIP] – Session Initiation Protocol	
<a href="http://www.ietf.org/html.charters/sip-charter.html">http://www.ietf.org/html.charters/sip-charter.html</a>	[Abril de 2008]
[SDP] – Session Description Protocol	
<a href="http://tools.ietf.org/html/rfc4566">http://tools.ietf.org/html/rfc4566</a>	[Abril de 2008]

[ITUT] – ITU-T Focus Group on Next Generation Networks

<http://www.itu.int/ITU-T/ngn/fgngn/index.html>

[Abril de 2008]

[IETF] – IETF - Internet Engineering Task Force

<http://www.ietf.org/>

[Abril de 2008]

[IETFIPPM] – IETF IP Performance Metrics Working Group

<http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html>

[Abril de 2008]