UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA

PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS REDES DE COMPUTADORES

Dissertação de Mestrado em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
de
António Francelino Gomes Viana

Outubro de 1999

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS REDES DE COMPUTADORES

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA

António Francelino Gomes Viana
Licenciado em Engenharia Electrotécnica
pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do programa do curso de
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização de Informática Industrial)

Porto, Outubro de 1999

681.3(043) VIA a/ PER
UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA
N.º 48997
CDU
Data 04/05/2000

Dissertação realizada sob a orientação do

Professor Joaquim Borges Gouveia

Prof. Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Desejo agradecer,

À minha esposa e aos meus pais pelo apoio, amizade e compreensão que demostraram;

À Doutora Lígia Ribeiro, (FEUP-CICA), pelo apoio, comentários e sugestões;

Ao Professor Borges Gouveia (FEUP) e Professor Pedro Veiga (FCCN), por me terem aliciado para este projecto, pela forma como me orientaram e pelas ideias incutidas.

RESUMO:

Com o surgimento da Internet e a sua disseminação o conceito de que o nosso mundo se está a transformar numa "Aldeia Global" toma proporções cada vez mais realistas.

Neste trabalho apresenta-se uma retrospectiva histórica e tecnológica do desenvolvimento da Internet, desde a sua origem nos Estados Unidos até ao presente, assim como a sua evolução na Europa.

Aborda-se a problemática da implementação de sistemas de monitorização e avaliação da Internet, apresentando métricas que se podem utilizar para implementar esta avaliação. Descrevem-se os métodos utilizados para a implementação destas métricas, através da apresentação de alguns dos sistemas já existentes.

Com base no estudo realizado, propõe-se e implementa-se um sistema de monitorização e avaliação para a Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN).

Por fim, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos e, com base nestes, é proposta uma classificação para a rede. Pretende-se com este sistema criar um instrumento que possibilite avaliar a qualidade de serviço oferecido pela RCCN à comunidade dos seus utilizadores.

ABSTRACT:

With the appearance of the Internet and its dissemination, the idea that our world is becoming a "Global Village" takes more realistic proportions every day.

This work presents a historic and technological retrospective of the development of the Internet, from its origin in the United States of America till now, as well as its evolution in Europe.

It takes a look at the problematic of the implementation of monitorisaction and evaluation of the Internet, by the presentation of metrics that could be used to implement this evaluation. The methods used to implement this metrics are described, by the presentation of some systems that have already been implemented.

With base on this study, it is proposed and implemented a system of monitorisation and evaluation of the RCCN (Rede da Comunidade Científica Nacional).

Finally, the results obtained are presented and discussed, and with this base it is proposed a classification to the network. With this system we expect to create an instrument that allow to evaluate the quality of Service (QoS) provided by RCCN to is community of users.

RESUMÉ:

Avec lápparition d'Internet et sa dissémination, le concept selon lequel notre monde se transforme en un "Village Global" prend des proportions de plus en plus réalistes.

Dans ce travail nous présentons une rétrospective historique et techonologique du développment d'Internet, depuis son origne aux États-Unis jusqu´à present, ainsi que son évolution en Europe.

Nous abordons la problématique de l'implémentation de systèmes de monitorisation et l'évaluation d'Internet, en présentant des métriques que l'on peut utiliser pour implémenter cette évaluation. On décrit les méthodes utilisées pour l'implémentation de ces métriques à travers la présentation de quelques des systèmes dejá existants.

Ayant pour base l'étude realisée, nous proposons et nous implementons un système de monitorisation et d'évaluation pour le RCCN (Rede da Comunidade Científica Nacional).

Enfin, on présente et on discute les résultats obtenus, et, ayant ces derniers pour base, une classification pour le réseau est proposée. Nous prétendons, avec ce système, créer un instrument qui possibilite l'évaluation de la qualité du service offert par le RCCN à la communauté de ses utilisateurs.

Palavras Chave:

Internet
Sistema de Monitorização e Avaliação
WWW (World Wide Web)
HTTP
Métricas
`ping`
Tempo de atraso
Pacotes perdidos

ÍNDICE:

Capítulo 1: Introdução **1**

1.1. Enquadramento do Trabalho *1*

1.2. O problema *4*

1.3. Objectivos a atingir *4*

1.4. Organização da Dissertação *5*

Capítulo 2: Evolução da Internet **7**

2.1. Introdução *7*

2.2. A origem da Internet *8*

2.3. ARPANET – A primeira rede de computadores *10*

2.4. O Interface Message Processor *11*

2.5. O Network Control Protocol *12*

2.6. Apresentação da ARPANET ao público *12*

2.7. O crescimento da rede *13*

2.8. A família de protocolos TCP/IP *14*

2.9. UNIX Timesharing System *15*

2.10. A evolução da Internet *16*

2.11. As redes Europeias *18*

2.12. Portugal e a Internet *23*

2.13. Conclusão *27*

Capítulo 3: Perspectivas futuras de evolução da Internet **29**

3.1. Introdução *29*

3.2. Gestão da rede por operadores comerciais *30*

3.3. As novas iniciativas 31
3.3.1. NGI - Next Generation Internet 31
3.3.2. Internet2 34

Capítulo 4: Avaliação da qualidade das redes **39**

4.1. Introdução 39
4.2. Critérios a utilizar na definição e implementação de Métricas 41
4.3. Métricas definidas 43
4.3.1. Razão da utilização destas métricas 44
4.4. Metodologias de medida 46
4.4.1. Sistema Um e Dois sentidos 46
4.4.2. Motivação para a utilização do sistema Um ou Dois sentidos 48
4.5. Comunicação através da Internet 49
4.5.1. A utilização do TCP/IP 49
4.5.2. Protocolo ARP 54
4.5.3. Protocolo ICMP 55
4.5.4. O Programa `ping` 58

Capítulo 5: Estudo e comparação de Sistemas de Monitorização e Avaliação Existentes **65**

5.1. Introdução 65
5.2. RIPE Test Trafic Project 66
5.3. NIMI Project 68
5.4. Monitorização na EMBnet 70
5.5. Particle Phisics Network Co-ordinating Group 73
5.6. People Network 73
5.7. Dymanic Server Selection in the Internet 74
5.8. PingER 75
5.9. Resumo 77

Capítulo 6: Implementação de um sistema de Avaliação e Monitorização **81**

6.1. Introdução *81*

6.2. Métricas e metodologias utilizadas *82*

6.3. Ferramentas utilizadas *82*

6.4. Validação do uso do `ping` *83*

6.5. Arquitectura do sistema *88*

6.6. Forma de funcionamento *89*

6.7. Selecção dos computadores a testar *91*

Capítulo 7: Apresentação dos resultados **93**

7.1. Introdução *93*

7.2. Resultados *94*

7.3. Comparação entre servidores WWW e encaminhadores *110*

7.4. Classificação das ligações *112*

7.5. Considerações *116*

Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas Futuras **119**

8.1. Satisfação dos objectivos propostos *119*

8.2. Propostas para trabalho futuro *122*

Bibliografia **125**

Glossário **129**

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1 – MAPA RCCN 27
FIGURA 2 – SISTEMA UM SENTIDO (ONE-WAY) 46
FIGURA 3 – SISTEMA DOIS SENTIDOS (TWO-WAY) 47
FIGURA 4 – OS QUATRO NÍVEIS DO TCP/IP 50
FIGURA 5 – DUAS REDES INTERLIGADAS POR UM ENCAMINHADOR 51
FIGURA 6 – ENCAPSULAMENTO TCP/IP 52
FIGURA 7 – DATAGRAMA IP 56
FIGURA 8 – FORMATO MENSAGEM ICPM 56
FIGURA 9 – FORMATO DA MENSAGEM ICPM "ECHO REQUEST/REPLY" 57
FIGURA 10 – ICMP ECHO 58
FIGURA 11– MENSAGEM ICPM "ECHO REQUEST" OU "ECHO REPLAY" 59
FIGURA 12 – EXECUÇÃO DO PING NUMA REDE LOCAL 60
FIGURA 13 – EXECUÇÃO DO PING NA INTERNET 62
FIGURA 14 – PARÂMETROS OPCIONAIS DO PING 63
FIGURA 15 – RIPE VISÃO GLOBAL (UIJTERWALL, 1997) 67
FIGURA 16 – RIPE DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO (UIJTERWALL, 1997) 67
FIGURA 17 – NIMI DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO (ADAMS, 1999) 70
FIGURA 18 – EMBNET GRÁFICO DO RTT ENTRE HOLANDA E ALEMANHA 72
FIGURA 19 – SLAC, ARQUITECTURA DO SISTEMA (COTTRELL, 1999B) 76
FIGURA 20 – PING VERSUS GET (COTTRELL, 1999A) 87
FIGURA 21 – ESQUEMA DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 89
FIGURA 22 – FCCN, RTT MAIO 99 (100 BYTES) 98
FIGURA 23 – UNIV. ALGARVE, RTT MAIO 99 (100 BYTES) 98
FIGURA 24 – FCUL, RTT MAIO 99 (100 BYTES) 99
FIGURA 25 – FCCN, PERDA DE PACOTES, MAIO 99 (100 BYTES) 100
FIGURA 26 – UNIV. ALGARVE, PERDA DE PACOTES, MAIO 99 (100 BYTES) 100
FIGURA 27 – FCUL, PERDA DE PACOTES, MAIO 99 (100 BYTES) 101
FIGURA 28 – FCCN, RTT JUNHO 99 (100 BYTES) 101
FIGURA 29 – UNIV. ALGARVE, RTT JUNHO 99 (100 BYTES) 102
FIGURA 30 – FCUL, RTT JUNHO 99 (100 BYTES) 102
FIGURA 31 – FCCN, PACOTES PERDIDOS, JUNHO 99 (100 BYTES) 103
FIGURA 32 – UNIV. ALGARVE, PACOTES PERDIDOS, JUNHO 99 (100 BYTES) 103
FIGURA 33 – FCUL, PACOTES PERDIDOS, JUNHO 99 (100 BYTES) 104

ÍNDICE DE TABELAS:

TABELA 1– EVOLUÇÃO DOS COMPUTADORES LIGADOS À INTERNET 40
TABELA 2 – EXEMPLOS DE MENSAGENS ICMP 57
TABELA 3 – RESUMO DOS SISTEMAS EXISTENTES 78
TABELA 4 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO HTTP GET VERSUS PING (PACOTES IGUAIS) 86
TABELA 5 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO GET VERSUS PING (PACOTES DE 1000 BYTES) 88
TABELA 6 – SERVIDORES TESTADOS 91
TABELA 7 – ENCAMINHADORES TESTADOS 92
TABELA 8 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA FCCN (100 BYTES) 94
TABELA 9 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA FCCN (1000 BYTES) 95
TABELA 10 – FCCN, COMPARAÇÃO PACOTES PERDIDOS 95
TABELA 11 – FCCN, COMPARAÇÃO DO RTT 95
TABELA 12 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA UNIV. DO ALGARVE (100 BYTES) 96
TABELA 13 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA UNIV. DO ALGARVE (1000 BYTES) 96
TABELA 14 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA FCUL (100 BYTES) 96
TABELA 15 – VAL. MENSAIS DO SERVIDOR DA FCUL (1000 BYTES) 97
TABELA 16 – FCCN, RESULTADOS DIÁRIOS, 9 MAIO 99 (100 BYTES) 105
TABELA 17 – RESUMO DOS RESULTADOS MENSAIS (100 BYTES) 106
TABELA 18 – RESUMO DOS RESULTADOS MENSAIS (1000 BYTES) 107
TABELA 19 – RELAÇÃO PACOTES 1000/100 BYTES 108
TABELA 20 – RESULTADOS DOS ENCAMINHADORES (100 BYTES) 110
TABELA 21 – COMPARAÇÃO SERVIDOR WWW / ENCAMINHADOR 111
TABELA 22 – PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO 114
TABELA 23 – CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES AOS SERVIDORES WWW 114

Capítulo 1: Introdução

1.1. Enquadramento do Trabalho

No final do século XIX iniciou-se a Revolução Industrial, que foi responsável pela implementação de um novo modelo de sociedade, surgiram assim novas perspectivas de vida, as civilizações evoluíram como até então não tinha sido possível.

No final deste século, somos testemunhas de uma nova revolução. Os grandes desenvolvimentos nas áreas da informática, electrónica e telecomunicações estão a transformar o nosso planeta numa "Aldeia Global". A globalização das economias e dos mercados deve-se sobretudo ao facto de estas tecnologias permitirem que a informação esteja acessível de uma forma mais rápida e de uma forma mais abrangente. As manifestações da "Sociedade da Informação" rodeiam o nosso quotidiano, afectam o comportamento das organizações e influenciam o pensamento estratégico das Nações.

Mas o que significa, afinal, essa expressão "Sociedade da Informação" ?

Por que razão as empresas alteram as suas orientações e as Nações têm necessidade de reflectir estrategicamente em função deste novo estádio da sociedade?

Como será possível retirar o máximo proveito da "revolução" em curso?

A expressão "Sociedade da Informação" refere-se a um modo de desenvolvimento social e económico em que a aquisição, armazenamento, processamento, valorização, transmissão, distribuição e disseminação de informação conducente à criação de conhecimento e à satisfação das necessidades dos cidadãos e das empresas, desempenham um papel central na actividade económica, na criação de riqueza, na definição da qualidade de vida dos cidadãos e das suas práticas culturais (LIVRO VERDE, 1999). A sociedade da informação corresponde a uma sociedade cujo funcionamento recorre crescentemente a redes digitais de informação. Esta alteração do domínio da actividade económica e dos factores determinantes do bem-estar social é resultante do desenvolvimento das novas tecnologias da informação, do audiovisual e das comunicações, com as suas importantes ramificações e impactos no trabalho, na educação, na ciência, na saúde, no lazer, nos transportes e no ambiente, entre outras.

Os computadores começam a fazer parte da vida individual e colectiva e a Internet e o multimédia estão a tornar-se omnipresentes. Contudo, tal como a rádio não substitui os espectáculos ao vivo, a televisão não faz as vezes da rádio e o cinema não fez desaparecer o teatro, também estes novos meios não irão substituir os livros e outros meios tradicionais, mas simplesmente acrescentar capacidades adicionais e inovadoras ao leque das opções disponíveis.

O futuro das Nações será condicionado pela forma como as novas tecnologias de informação e de comunicação forem assimiladas e do êxito e da rapidez dessa absorção. Neste contexto, é fundamental o desenvolvimento de estratégias, por forma a aproveitarem-se as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias e se transporem as barreiras a esse aproveitamento.

A consciência dos desafios e das oportunidades da sociedade da informação tem vindo a ganhar impacto e peso na sociedade portuguesa. Contudo, são ainda muito numerosas e importantes as tarefas que faltam realizar para que o país possa ocupar um lugar de vanguarda na nova sociedade global, baseada na informação e no conhecimento, em que um dos suportes é a interligação por redes electrónicas digitais, à escala mundial (a Internet é um exemplo). Um dos principais desafios consiste em acompanhar os países mais desenvolvidos nesta área, em particular os da União Europeia, sob pena de ficarmos irremediavelmente atrasados nesta matéria, com prejuízos significativos em termos do nosso desenvolvimento económico e social.

Por forma a permitir acompanhar o desenvolvimento internacional, no que diz respeito à Internet, existe em Portugal a Rede para a Comunidade Científica Nacional (RCCN), a qual é gerida pela Fundação para a Computação Científica Nacional (FCCN). Como o próprio nome indica, é a rede que permite interligar a comunidade científica e académica nacional, procurando através desta oferecer uma infra-estrutura de comunicações para estas comunidades, para que seja possível testar e desenvolver as novas aplicações da Internet.

O crescimento do mercado das comunicações móveis, a explosão da Internet, a emergência do comércio electrónico, o desenvolvimento da indústria de conteúdos em ambiente multimédia, a confluência dos sectores das telecomunicações, dos computadores e do audiovisual demonstram o enorme potencial das tecnologias de informação para gerar novas oportunidades de emprego, estimular o investimento e o desenvolvimento acelerado de novos

sectores da economia. É pois cada vez mais necessário que a nossa sociedade esteja sensibilizada e receptiva face às novas tecnologias por forma a poder integrá-las eficaz e eficientemente no trabalho diário.

Contudo, a divulgação das tecnologias da Internet levam a que existam cada vez mais computadores ligados à mesma, assim como conduz ao aumento do número de utilizadores, que se traduz num inevitável aumento do tráfego global da Internet.

Todo este desenvolvimento verificado a nível da informação deve-se ao facto de se ter conseguido criar redes de computadores que se interligam entre si para troca de informação, sendo o caso mais flagrante o da Internet. Como poderemos verificar mais à frente, em grande parte se deve este desenvolvimento às comunidades académicas e de investigação.

1.2. O problema

Para que o aumento do tráfego global não resulte numa degradação da qualidade global da Internet, é necessário que os engenheiros projectem, desenvolvam, implementem, actualizem e realizem a respectiva manutenção das infra-estruturas de comunicação. Neste contexto, é extremamente importante o desenvolvimento de sistemas de monitorização e avaliação, que ajudem os responsáveis a determinar a altura em que devem ser introduzidas alterações nas infra-estruturas, por forma a manter ou melhorar a qualidade do serviço prestado pela rede.

1.3. Objectivos a atingir

Neste trabalho procura-se fazer uma retrospectiva histórica do desenvolvimento da Internet e abordar a problemática da monitorização da mesma. Enumeram-se as métricas e descrevem-se os métodos utilizados em

alguns dos sistemas já existentes. Com base nestes, propõe-se e implementa-se um sistema de monitorização e avaliação para a Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN).

1.4. Organização da Dissertação

Esta dissertação organiza-se em 8 capítulos.

No 1º capítulo faz-se uma introdução, na qual é referido o enquadramento do trabalho, assim como é feita uma referência à organização da dissertação. A este capítulo introdutório, segue-se, no 2º capítulo uma descrição da evolução da Internet, desde a sua origem até aos dias de hoje.

No 3º capítulo descrevem-se as iniciativas, *Next Generation Internet* e Internet2, em curso nos Estados Unidos da América.

O 4º capítulo dedica-se aos sistemas de monitorização e avaliação da Internet, descrevendo-se as métricas e sua concepção. Neste contexto, descrevem-se alguns protocolos da família de protocolos TCP/IP e aplicações, nomeadamente as funcionalidades da aplicação `ping`, utilizada como ferramenta base em alguns sistemas de monitorização, que se apresentam no capítulo seguinte.

No 5º capítulo é feita uma descrição de alguns dos sistemas de monitorização já implementados.

No 6º capítulo apresenta-se o sistema de monitorização e avaliação para a RCCN, as métricas a utilizar, a arquitectura do sistema e forma de funcionamento, no 7º capítulo apresentam-se os resultados e uma análise dos mesmos.

No 8º capítulo são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalho futuro e na parte final apresenta-se a bibliografia a que se faz referência ao longo do texto.

Capítulo 2: Evolução da Internet

2.1. Introdução

O desenvolvimento da Internet revolucionou o mundo das comunicações e dos computadores. A Internet permitiu a integração de capacidades que até então não eram possíveis. Esta rede é ao mesmo tempo uma rede mundial com capacidades de difusão, um mecanismo de disseminação de informação e um meio para colaboração e interacção entre pessoas e computadores, independentemente da sua localização geográfica.

A Internet surge como o resultado dos esforços feitos pelas comunidades académicas, de investigação, industrial e dos próprios governos, que conjuntamente, contribuíram para o desenvolvimento das tecnologias necessárias a esta nova infra-estrutura de comunicações.

Neste capítulo procura-se fazer uma descrição da evolução da Internet desde a sua origem até ao seu estado presente, tendo em vista possibilitar a

compreensão dos principais problemas de congestionamento e da importância dos sistemas de monitorização e avaliação.

2.2. A origem da Internet

No auge da Guerra Fria, com receio de uma eventual guerra nuclear, o Governo dos Estados Unidos da América apercebeu-se que um sistema de comunicações centralizado facilmente seria destruído. As soluções tecnológicas existentes na altura não funcionariam (RUTHFIELD, 1995). Este receio levou-o à procura de soluções que ultrapassassem esta dificuldade. Criou-se então a ARPA *(Advanced Research Projects Agency)*, na dependência do Departamento de Defesa Norte Americano, que financiou a agência para que esta promovesse a investigação nestes domínios. A criação desta agência foi em parte uma reacção dos Estados Unidos ao lançamento do *Sputnik* por parte da União Soviética em 1957 (THE HISTORY, 1999).

A ARPA interessou-se então, pelo desenvolvimento de um sistema que permitisse que computadores comunicassem entre si levando-a a estabelecer projectos com Universidades e empresas.

O desenvolvimento de uma rede de computadores permitiria, aos Estados Unidos, um desenvolvimento tecnológico avançado, assim como criar uma infra-estrutura que funcionasse em situações críticas. Pressuponha-se que este sistema deveria ser tolerante a falhas, permitindo que a comunicação entre diferentes computadores se continuasse a processar, mesmo que alguns computadores, ou mesmo linhas de comunicação tivessem sido afectados.

Em 1961 Leonard Kleinrock do MIT, apresentou a primeira comunicação sobre a teoria de comutação de pacotes *(paket-switching)* intitulado *"Information Flow in Large Communications Nets"*, teoria que em muito contribuiria para o desenvolvimento das redes (ZAKON, 1999).

Em Agosto de 1962 J.C.R. Licklider escreveu uma série de memorandos sobre as interacções sociais que poderiam ser estabelecidas através de redes, discutindo o seu conceito de *"Galactic Network"*. Ele antevia um conjunto de computadores globalmente interligado, através dos quais se poderia facilmente aceder a dados e programas a partir de qualquer local. Na verdade, Licklider tinha uma visão de futuro, que se veio a confirmar mais tarde com o desenvolvimento da Internet, tornando-se uma realidade indiscutível.

Licklider foi o primeiro responsável na ARPA pelo desenvolvimento de um sistema que permitisse que computadores comunicassem entre si. Enquanto líder, ele convenceu os seus sucessores no projecto, Ivan Sutherland, Bob Taylor e Lawrence G. Roberts acerca da importância do seu conceito de "trabalho em rede" *(networking)* .

Algumas questões foram colocadas pelos directores da ARPA a este projecto tais como: "Porque é que não se deixa que a indústria de computadores se preocupe com isso ?" ou "Nós não deveríamos apoiar este projecto porque a indústria de computadores o fará, logo não vale a pena !!!".

Contudo, nesta época, a indústria e uma grande parte da comunidade académica olhava para os computadores como máquinas de cálculo aritméticas e não estavam preocupados com os aspectos de comunicação entre elas. Este projecto de investigação tinha uma perspectiva diferente, pois a ênfase era precisamente a comunicação entre máquinas.

Como a maioria dos trabalhos de I&D (investigação e desenvolvimento) não se traduzem em lucros a curto prazo, tinha que existir algum tipo de organização que funcionasse como plataforma de desenvolvimento para este tipo de iniciativas, sendo esta a função da ARPA. Na realidade, hoje, as redes de computadores são um imenso campo lucrativo, aspecto que não se verificava na altura do seu desenvolvimento.

2.3. ARPANET – A primeira rede de computadores

Um grande passo na direcção da computação em rede foi dado quando Leonard Kleinrock convenceu Lawrence G. Roberts sobre a teórica praticabilidade de comunicações utilizando pacotes em vez de circuitos (KLEINROCK, 1999).

Outro grande passo foi tornar possível que dois computadores "falassem" entre si. Para explorar este campo, em 1965, em trabalho conjunto com Thomas Merrill, Roberts ligou o computador TX-2 situado no *MIT Lincoln Lab* e o AN/FSQ_32 situado no *System Development Corporation* em Santa Mónica através de uma linha telefónica dedicada de 1200 bps.

Criou-se assim pela primeira vez, embora pequena, uma rede de computadores, tendo posteriormente sido ligado o computador da *Digital Equipment Corporation* (DEC) que estava instalado na ARPA.

O resultado destas experiências permitiu concluir que computadores poderiam trabalhar bem, correndo programas e trocando dados conforme necessário, com outros computadores remotos. O embrião da ARPANET estava criado.

Em 1966 Roberts foi integrado na ARPA para desenvolver o conceito de rede de computadores e rapidamente elaborou o primeiro plano para a ARPANET, o qual foi tornado público em 1967. Na conferência onde Roberts apresentou a sua comunicação, foi também apresentada uma comunicação sobre o conceito de rede de comutação de pacotes, desenvolvida por Donald Davies e Roger Scamtlebury do National Physical Laboratories (NPL) no Reino Unido. Verificou-se então que estavam em curso trabalhos paralelos, desenvolvidos no MIT (1961-1967), no RAND (1962-1965) e no NPL (1964-1967), sem que entre eles houvesse troca de informação (KLEINROCK, 1999).

2.4. O Interface Message Processor

No início de 1969, vários investigadores começaram a trabalhar em várias Universidades, tentando desenvolver um sistema que permitisse que computadores comunicassem sem ser necessário um sistema central. À empresa Bolt, Baranek and Newman (BBN) foi adjudicado o concurso para desenvolver o *Interface Message Processor* (IMP), que seria a base do novo sistema de comunicações. Os IMP's eram pequenas máquinas dedicadas que formavam uma sub-rede, possibilitando a comunicação entre computadores, utilizando a tecnologia de comutação de pacotes (RUTHFIELD, 1995).

Contudo, os protocolos que permitiriam aos computadores falar entre si através desta sub-rede tinham que ser desenvolvidos. A responsabilidade de desenvolver *hardware* e *software* que permitisse a ligação dos computadores aos IMP's foi deixada a cargo dos centros de investigação académicos, tornando-os assim uma parte activa do projecto.

Em Setembro de 1969 o primeiro IMP foi instalado na UCLA, ao qual se ligou o primeiro computador. O segundo computador ligou-se ao IMP instalado no *Stanford Research Institut* (SRI). Pouco depois, a primeira mensagem foi enviada do computador instalado na UCLA para o computador instalado no SRI. Posteriormente, ligaram-se mais dois nós, na UC Santa Barbara e na Universidade do Utah. A rede começava a tomar uma forma mais realista.

A vantagem da comutação de pacotes tornou-se então evidente. Contrariamente ao antigo sistema centralizado, em que toda a informação tinha que ser canalizada para uma fonte, processada e enviada para qualquer lado, a comutação de pacotes permitia outro método, a informação podia ser enviada primeiro para um lugar, e se esse não estivesse a funcionar ou o processamento fosse muito lento, poderia ser reencaminhada de seguida para outro lugar. Este conceito denominado de reencaminhamento dinâmico permitia que, com todos os computadores a terem as mesmas capacidades de encaminhamento, o inimigo tinha que destruir quase todos os computadores e

linhas de comunicação da rede para garantir que não existiria qualquer comunicação (RUTHFIELD, 1995).

2.5. O Network Control Protocol

Enquanto estes desenvolvimentos eram francamente positivos, os responsáveis cedo se aperceberam que o sistema original apenas suportava protocolos tipo cliente-servidor, como o telnet (*Telecomunications Network Protocol*) e o FTP *(File Transfer Protocol)* e não suportava relações computador – computador *(host[1] to host)*, o que limitaria a funcionalidade da rede. Um novo protocolo foi desenvolvido por forma a resolver este problema.

Surgiu assim, o protocolo *Network Control Protocol* (NCP). Com a implementação deste protocolo, os utilizadores da rede conseguiram assim iniciar o desenvolvimento de aplicações, de onde se destaca o correio electrónico inventado por Ray Tomlinson da BBN (1971) (KLEINROCK, 1999).

2.6. Apresentação da ARPANET ao público

Em Outubro de 1972 Bob Kahn organizou uma grande demonstração das potencialidades da ARPANET na *International Computer Comunications Conference* (ICCC). Foi a primeira demonstração pública desta tecnologia, sendo também neste ano que o programa de correio electrónico foi alterado por Ray Tomlinson, autor da primeira versão [HTI], motivado pela necessidade dos investigadores terem um meio de correspondência rápido e fácil. Desde então, o correio electrónico tornou-se a aplicação mais utilizada por mais de uma década, a qual foi destronada pela World Wide Web.

[1] Entende-se como host um computador que tem uma ligação à infra-estrutura de rede.

2.7. O crescimento da rede

O que até aqui tinha sido resultado de I&D, começou a ter a colaboração do comércio e indústria. Após a sua revelação, começaram a surgir tecnologias para ajudar no seu desenvolvimento. Em 1971 a primeira rede baseada em transmissão de pacotes via rádio, ALOHANET, desenvolvida por Norman Abrahamson da Universidade do Havai, tornou-se operacional. Em 1973 uma ligação via satélite para o Havai estava estabelecida. No final desse ano, computadores mais distantes foram ligados através de linhas telefónicas. Existiam então protótipos com distintas tecnologias de base.

A ARPA começou a transferir tecnologia para a Defesa, mas reconheceu de imediato a importância em ultrapassar as dificuldades ainda existentes de interligação de redes que utilizassem tecnologias diferentes. A Agência procurou então, à custa de bolsas atribuídas a investigadores universitários e da indústria, criar as sinergias necessárias ao desenvolvimento de um trabalho cooperativo tendo em vista a resolução deste problema. Em reuniões periódicas os investigadores iam discutindo as suas ideias e gerando novas abordagens, tendo estas sido registadas.

Sempre que um investigador desenvolvia uma nova técnica, este documentava os resultados através de um relatório que se tornava público, denominando-se *Request for Comments* (RFC). O objectivo era disponibilizar para a comunidade envolvida o resultado do estudo, por forma a que se pudessem fazer sugestões, melhorias, ou ainda, para que outro investigador não desenvolvesse um trabalho que já tinha sido levado a cabo por outro.

Posteriormente, os comentários seriam incorporados no relatório dando origem ao IEN *(Internet Engineering Note)*. Os IEN's acabaram porém por não se concretizar, ou porque os RFC's não necessitavam nenhuma correcção, ou porque praticamente eram rescritos, dando origem a outro RFC (RIBEIRO, 1998).

Estes RFC's eram armazenados num computador da rede, estando acessíveis, através dela, para todos os investigadores, permitindo-lhes estar

actualizados e coordenar eficazmente as suas actividades. Esta forma de tornar públicas as especificações da Internet foi uma forma revolucionária, que levou ao rápido desenvolvimento da rede, que se tornou um sistema aberto e não proprietário.

Visto existirem redes protótipo com distintas tecnologias de base, era necessário proceder à interligação das respectivas redes (LAN's e WAN's), o que ficou conhecido por *internetwork*. Este termo é geralmente abreviado para Internet e aplica-se tanto ao projecto como à rede protótipo que foi criada. Para distinguir a sua *internet* de outras *internets*, os investigadores do projecto convencionaram escrever *internet*, com letra minúscula, para referir as *internetworks* em geral, e Internet com I maiúsculo para referir o seu protótipo, convenção que ainda se mantém.

A ARPANET foi especialmente importante para o projecto Internet por ser a WAN *(Wide Area Network)* que interligava os investigadores que trabalhavam no projecto, sendo simultaneamente um *backbone*, ou infra-estrutura de comunicação, e uma rede experimental, onde novas aplicações eram testadas.

Enquanto que a tecnologia se desenvolvia rapidamente, o número de máquinas que se ligavam à ARPANET era pequeno. Entre 1969 e 1977 tinham-se ligado apenas 107 computadores. Mesmo assim, os engenheiros da ARPA reconheciam que a nova rede de comunicações iria crescer muito para além do que eles tinham imaginado inicialmente.

2.8. A família de protocolos TCP/IP

Apercebendo-se de que o protocolo NCP não estava preparado para um grande fluxo de dados gerados pelos computadores, os investigadores da ARPA começaram a trabalhar no desenvolvimento de um novo protocolo que fosse capaz de lidar eficazmente com grande "volume" de tráfego. Nasceu assim o TCP/IP *(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)*. A primeira

especificação foi desenvolvida por Vint Cerf e Bob Kahn (1974), sendo inicialmente chamado de TPC e posteriormente, em 1978, separado em TCP/IP devido à nova especificação. O TCP/IP apresentava funcionalidades tais como garantir o controlo do fluxo de dados na transmissão, controlo de erro e congestão da rede, assim como encaminhamento dos pacotes (ZAKON, 1999). Este novo protocolo mais potente, foi aceite pelo Governo dos Estados Unidos em 1978, tornando-se em 1 de Janeiro de 1983 no protocolo oficial da ARPANET, em detrimento do NCP.

2.9. UNIX Timesharing System

A par dos desenvolvimentos na área da comunicação de dados, um grupo de investigadores dos laboratórios Bell apresentam o *Unix Timesharing System*. Como estes laboratórios utilizavam computadores com diferentes arquitecturas, este sistema operativo foi desenvolvido tendo em vista a sua portabilidade, por forma a que pudesse ser executado em diferentes arquitecturas. Desenvolveu-se também um protocolo de comunicações denominado *Unix-to-Unix-copy Protocol* (UUCP) (1976), que foi utilizado por exemplo na CSNET e na USENET (Unix User Network). A USENET, criada em 1979, deu origem ao serviço de *News*.

Entretanto, um grupo da Universidade da Califórnia, em Berkley, interessou-se pelo UNIX e desenvolveu para ele um conjunto de aplicações, chegando mesmo a modificar o núcleo do sistema operativo. Novas funcionalidades foram acrescentadas, em particular no que diz respeito às comunicações em rede. Esta versão de Unix de Berkley, intitulada Unix BSD foi amplamente distribuída às Universidades.

Dada a abrangência desta distribuição, a ARPA considerou ser este um bom meio para disseminar o *software* Internet e negociou com a Universidade de Berkley a incorporação do mesmo no Unix BSD *(Berkley Software Distribution)*. A primeira versão a incluir o TCP/IP foi a UNIX BSD 4.2, disponibilizada em 1983. Este foi mais um passo que contribuiu para a

popularidade do TCP/IP e a sua aceitação por parte da comunidade académica e científica, tornando-se assim um standard de facto.

2.10. A evolução da Internet

Em 1981 nasceram duas grandes redes, a CSNET *(Computer Science Network)*, financiada pela *National Science Fundation*, que visava ligar à rede a comunidade académica da área da ciência dos computadores, e a BITNET *(Because It's Time Network)*, para a generalidade da comunidade académica. Em 1983 a ARPANET foi dividida em ARPANET e MILNET, sendo esta última integrada na rede de dados da Defesa *(Defense Data Network)*.

Contudo, estas redes existiam separadas da ARPANET. Em 1983 a ARPANET e a CSNET negociaram um acordo que permitia que membros das duas redes trocassem correio electrónico. Outros acordos foram surgindo, começando assim, a construir-se *gatways* para interligar as redes existentes.

Em 1985 a *National Science Fundation*, reconhecendo a importância da Internet, apresentou ao Congresso dos Estados Unidos um programa para ligar 100 Universidades à Internet. Um dos objectivos era encorajar a utilização de supercomputadores através da rede. Originalmente a *National Science Fundation* queria incorporar a sua rede na ARPANET, mas um número de problemas técnicos e políticos levaram-na a criar a sua própria rede, a NSFNET. Rapidamente o projecto evoluiu, visando ligar à rede toda a comunidade de cientistas e engenheiros. Foi então, necessário criar uma nova rede de elevado desempenho (448 Kbps), visto a estrutura existente não suportar tal evolução. Este projecto foi suportado financeiramente pela *National Science Fundation*, IBM, MCI e pelo MERIT (RIBEIRO, 1998).

Entretanto, novos serviços foram surgindo, como por exemplo, o DNS *(Domain Name System)* em 1984, o IRC *(Internet Relay Chat)* em 1988, o Archie e Hytelnet em 1990, o WAIS *(Wide Area Information Servers)*, Gopher,

PGP *(Pretty Good Privacy)* e WWW *(Worl Wide Web)* em 1991. Este último é um dos grandes responsáveis pela explosão que a Internet teve.

O serviço WWW surgiu como o resultado de um projecto desenvolvido no CERN. Até então, toda a troca de informação tinha pouca interactividade. Toda a informação que se trocava era sob a forma de texto. Este projecto culminou com a elaboração de um novo protocolo, o HTTP *(HyperTex Transfer Protocol)*, que permitia que os utilizadores munidos de uma aplicação própria, pudessem visionar documentos num ambiente gráfico, sendo possível visionar documentos com texto, som e imagem e efectuar uma navegação nesses documentos de uma forma não sequencial. Para a elaboração destes documentos utilizou-se a linguagem HTML *(HiperText Markup Language)*.

Os americanos vendo o potencial deste novo serviço depressa o adoptaram e em pouco tempo se transformou no serviço mais popular e utilizado da Internet.

Apesar deste esforço de beneficiação da infra-estrutura, no final de 1991 a capacidade da rede encontrava-se de novo próxima do limite, não obstante já ter sido feito um aumento da largura de banda em 1989 para 1.544 Mbps. Isto deve-se, sem dúvida, ao facto de muitas das redes existentes em várias partes do mundo terem efectuado a sua ligação à NSFNET. Entre elas estava a rede portuguesa, Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN).

A IBM, MCI e MERIT criaram então uma companhia sem fins lucrativos chamada ANS *(Advanced Networks and Services)*, que disponibilizou a ANSNET. A capacidade de transmissão da ANSNET era trinta vezes superior à da NSFNET, 45 Mbps, tendo-a substituído.

Existe assim uma rotura com o passado. É a ANS e não o Governo que é dona da infra-estrutura activa e passiva da rede.

Em Abril de 1995 a *National Science Fundation*, em parceria com o MCI, desenvolveram uma WAN para substituir a ANSNET. Denominava-se *v*BNS *(very high-Speed Backbone Network System)*, e o seu objectivo era fornecer

uma rede de grande capacidade para o desenvolvimento de novas aplicações. Esta rede servia para ligar os principais centros de supercomputação do país, estando vedada ao tráfego gerado na denominada "comodity Internet". A *v*BNS é utilizada pelos membros das iniciativas *Internet2*, que surgiu nos Estados Unidos em 1996, e *Next Generation Internet* (NGI) que surgiu em 1997. Em 1997, no Canadá, foi lançada a CA*net II, iniciativa com objectivos semelhantes aos das iniciativas NGI e *Internet2*. Em 1998 foi anunciada a CA*net III, a primeira Internet óptica nacional, desenvolvida no Canadá.

2.11. As redes Europeias

Embora desenvolvida nos Estados Unidos, a Internet tem actualmente uma abrangência mundial.

Salvo algumas iniciativas esporádicas de instituições ou indivíduos, a participação europeia na fase inicial de desenvolvimento da Internet foi muito reduzida. Uma excepção notável foi a dos trabalhos realizados no National Physics Laboratory britânico, sobre o conceito de comutação de pacotes. Foi precisamente no National Physics Laboratory onde teve origem o termo *packet* (pacote) e onde se construiu o primeiro protótipo de uma rede de comutação de pacotes em 1968.

Outros pioneiros foram o *University College of London* de Inglaterra e o *Royal Radar Establishment* da Noruega.

Ainda na fase inicial de desenvolvimento da Internet, a ARPA utilizou satélites para experimentar comunicações com a Noruega e com Inglaterra. Estes foram, aliás, os primeiros países europeus a terem acesso à Internet (1973) (SANZ , 1999).

Apesar destas iniciativas, o verdadeiro interesse pela tecnologia desenvolvida nos Estados Unidos só se verificou a partir dos meados dos anos 80.

Nos finais dos anos 70, a International Standards Organization (ISO) anunciou o início de um processo destinado a normalizar a comunicação de

dados entre computadores. Este processo culminou com a publicação em 1984 do Modelo de Referência para a Interligação de Sistemas Abertos (modelo de referência OSI). Este modelo de referência abria caminho para o desenvolvimento de uma série de protocolos standard, que prometiam acabar de uma vez por todas, com o problema de interoperabilidade em rede entre equipamentos informáticos de diferentes fabricantes que utilizavam soluções diversas, e quase sempre proprietárias.

Os protocolos OSI, por estarem reconhecidos por um organismo de normalização internacional, contavam com o apoio de instituições governamentais e de grandes multinacionais de todo o mundo, enquanto que os protocolos TCP/IP se viam como o fruto do trabalho de um grupo de engenheiros e investigadores americanos.

Parecia claro que o OSI era o futuro e que o TCP/IP se tornaria numa experiência da ARPANET. Pelo menos assim se pensou na Europa e em grande parte do mundo. Contudo, as promessas dos protocolos OSI não chegaram a materializar-se. Apenas alguns protocolos chegaram à fase de exploração. O protocolo de nível de rede X.25 (muito utilizado por bastantes redes de dados públicas, especialmente na Europa) e, em menor dimensão, o X.400 (correio electrónico) são exemplos.

Todo um conjunto de circunstâncias fizeram com que o desenvolvimento dos protocolos OSI demorassem imenso (burocracia oficial e excessiva complexidade conceptual), enquanto que o desenvolvimento dos protocolos TCP/IP avançava a "passos de gigante" e a sua utilização se estendia como um "rastilho de pólvora" entre a comunidade académica e investigadora.

Apesar dos apoios significativos em termos de fundos públicos, que diferentes países e a própria Comissão Europeia (por exemplo, através do projecto COSINE) afectaram à promoção e desenvolvimento de produtos OSI, considerações do tipo prático fizeram com que a tecnologia TPC/IP fosse ganhando cada vez mais adeptos entre os utilizadores europeus.

Sobretudo em ambientes universitários e de investigação, onde as redes locais proliferavam num rápido processo de descentralização informática e onde existia também um crescente número de máquinas UNIX instaladas, rapidamente se passou da fase de instalação e exploração local para a necessidade de interligar estas redes a nível nacional e internacional.

Nos finais dos anos 80 já existia um grande número de redes TCP/IP a funcionar na Europa. Algumas delas começaram a utilizar as primeiras ligações transatlânticas com a Internet, normalmente graças a linhas dedicadas co-financiadas por agências Norte Americanas, como a NSF (National Science Foundation), a NASA e o Departamento de Energia (DoE), que tinham interesse em colaborar com determinados centros de investigação europeus.

Outros pioneiros na construção de redes pan-europeias na década de 80 foram a EUNET *(European UNIX Network)*, a EARN *(European Academic Research Network)* e a HEPNET *(High Energy Physics NETwork)*.

A EUNET oferecia o serviço de Email, assim como os serviços oferecidos pela USENET, existindo ligações entre a Holanda, Dinamarca, Suécia e Reino Unido

A EARN foi a primeira rede de longa distância a servir a comunidade académica e de investigação na Europa, Médio Oriente e África. Esta rede foi estabelecida em 1983 com financiamento e tecnologia da IBM (protocolos RSCS/NJE), como uma extensão da rede americana BITNET tendo, junto com esta, ligado mais de três mil computadores, muitos dos quais *mainframes* da IBM, que se encontravam nos centros de investigação e nas universidades.

Nos anos 80, a rede HEPNET, que utilizava protocolos DECnet, estendeu-se dos Estados Unidos a vários países europeus. Em 1990, dos cerca de vinte mil computadores que a compunham, perto de dez mil estavam na Europa.

Com o objectivo de coordenar as diferentes iniciativas que em matéria de redes iam aparecendo a nível nacional, racionalizando tanto os investimentos como as possíveis soluções técnicas, na maioria dos países da Europa Ocidental começaram-se a criar redes académicas e de investigação.

Surgiram assim, entre outras, a JANET (Reino Unido), a DFN (Alemanha) e a SUNET (Suécia), em 1984. A SURFnet (Holanda) e a ACOnet (Austria), em 1986. A SWITCH (Suíça) em 1987. A RedIRIS (Espanha) e a GARR (Itália), em 1988. No ano seguinte surge a RCCN em Portugal.

Estas redes nasciam com vocação interdisciplinar, o seu objectivo era servir por igual toda a comunidade académica e investigadora, independente da sua área de actividade, utilizando para tal a mesma infra-estrutura centralizada, tendo em vista congregar esforços e beneficiar das sinergias e economias de escala.

Nos anos 80, a nível de redes, o cenário europeu era bastante confuso, quase caótico. Existia um conjunto de redes que utilizavam diferentes protocolos (OSI, TCP/IP, DECnet, UUCP, RSCS/NJE), mas que não estavam ligadas entre si. Foi necessário criar organismos que coordenassem estas actividades.

Em 1986 surgiu a RARE *(Réseaux Associés pour la Recherche Européenne)*, que realizou a tarefa de coordenação entre as muitas entidades relacionadas com o fornecimento de serviços de rede para a comunidade investigadora existente na Europa. A sua missão inicial centrou-se na coordenação do projecto COSINE (1987-1993). Este projecto, financiado pela Comissão Europeia, tinha como principal objectivo a especificação e implementação de uma infra-estrutura telemática (rede e aplicações) a ser utilizada por todos os investigadores europeus. Tratou-se da rede IXI *(International X.25 Interconnection)*. Como o próprio nome indica, tratava-se de uma rede X.25 a 64 Kbps.

Nesta rede era dada ênfase à adopção de padrões de comunicações, quer houvesse ou não produtos comerciais disponíveis (ex: X.25, X.400, X.500, etc.). O financiamento dependia da manutenção desta política.

Quando, em 1991, se concluiu a fase piloto do IXI para se passar à fase de serviço de operação permanente, o tráfego IP já se tinha tornado maioritário.

Foi então necessário criar uma nova infra-estrutura que permitisse que o tráfego IP fluísse mais rapidamente, em vez de ser encapsulado em X.25, e que dispusesse de maior largura de banda. Assim, em 1992, a rede IXI deu lugar a uma rede multiprotocolo (suportava nativamente X.25, IP e CLNP), denominada EMPB (European MultiProtocol Backbone), permitindo larguras de banda até 2 Mbps. Esta rede europeia estabeleceu ligações transatlânticas para trafego IP, possibilitando assim um acesso à Internet global a todos os seus utilizadores. Esta passou então a ser denominada de EuropaNET, que, com diversas transformações, se manteve em funcionamento entre 1993 e 1997.

Durante o tempo de duração do projecto COSINE, o CPMU *(COSINE Project Manegement UNIT)* organizou e geriu os serviços pan-europeus oferecidos às redes nacionais de investigação e desenvolvimento (I&D). Contudo, quando o projecto ficou concluído, não existia nenhuma organização que continuasse com a sua gestão e manutenção. Foi este facto que levou, em 1993, várias redes nacionais de I&D a juntarem-se constituindo-se a empresa DANTE (Delivery of Advanced Network Technology to Europ Limited). Esta é responsável pela implementação e manutenção de uma infra-estrutura de comunicação, que permite interligar as redes das várias comunidades científicas existentes na Europa, bem como pelo fornecimento de serviços de rede internacionais, que complementam os já fornecidos pelas redes das comunidades científicas europeias.

Posteriormente com a junção da RARE e da EARN veio a formar-se, em 1994, a TERENA (Trans-European Research and Education Networking Association). A formação desta associação teve como objectivo, promover e

participar no desenvolvimento de uma infra-estrutura de telecomunicações e de uma infra-estrutura de informação internacional de alta qualidade. Através da promoção de actividades técnicas, a TERENA fornece uma plataforma de discussão, para encorajar o desenvolvimento de uma infra-estrutura de comunicações de alta qualidade para as comunidades de investigadores Europeus.

Antes da rede EMPB oferecer serviços IP, já tinha surgido a necessidade de criar uma rede internacional, que prestasse serviços às comunidades nacionais de I&D, assim como a outras organizações interessadas no IP.

Deve-se ter em conta que a utilização da rede IXI era restrita às comunidades académicas e de investigação, bem como ao tipo de protocolos utilizados. Assim, nos inícios dos anos 90 começaram a surgir na Europa, redes IP com utilizadores de outros âmbitos. Por exemplo, a rede EUnet, com origens académicas, orientou-se para usos comerciais.

Esta necessidade levou um grupo de redes académicas, especialmente nos países nórdicos, a estabelecer uma rede alternativa pan-europeia, que não fosse tão restritiva quanto aos protocolos utilizados e que tivesse uma gestão mais flexível. Esta chamou-se EBONE *(European Backbone)* e utilizava o protocolo TCP/IP.

A partir de 1997 a EuropaNet passou a ser substituída pela rede TEN-34 (Trans European Network), que suportava velocidades até 34 Mbps. Por sua vez, esta foi substituída pela TEN-155, a partir dos finais de 1998, que suporta velocidades até 155 Mbps.

2.12. Portugal e a Internet

As grandes necessidades de comunicação entre os investigadores, acesso a todo o tipo de informação e de recursos informáticos, intercâmbio de experiências e resultados entre equipas nacionais e internacionais, etc., deram lugar, na década de 80, a distintas iniciativas que procuravam soluções

particulares para a problemática de várias colectividades, apoiando-se para isso na existência de redes homólogas de âmbito internacional. Portugal não foi excepção!

A utilização da Internet em Portugal ocorreu no início dos anos 80, através da rede telefónica e da rede pública de dados (X.25). Esta utilização era sobretudo a dos estudantes pós-graduados em universidades estrangeiras que, uma vez regressados a Portugal, mantinham assim contacto com estas instituições. Só depois da criação do primeiro nó EARN em Portugal, na Universidade de Lisboa, começaram a ser criadas ligações a este nó a partir de várias instituições nacionais. As ligações faziam-se através da rede pública de dados, Telepac, enquanto que a ligação internacional a Espanha era feita através de uma linha dedicada.

A Fundação para a Computação Científica Nacional (FCCN), é uma instituição privada sem fins lucrativos, declarada de utilidade pública. Foi constituída em 1987, tendo como organismos fundadores a Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT), o Conselho de Reitores das Universidades Portuguesas (CRUP), o Instituto Nacional de Investigação Científica (INIC), que posteriormente foi integrado na JNICT e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

A sigla FCCN começou por corresponder à Fundação para o Desenvolvimento dos Meios Nacionais de Cálculo Científico. O seu objectivo era fundamentalmente, o da criação de um Centro de Computação Rápido que pudesse colocar à disposição de toda a comunidade científica nacional meios de computação poderosos. Daí a aquisição de um supercomputador, o Convex. À volta deste equipamento foi criado o embrião de uma rede para, através desta, disponibilizar as capacidades do supercomputador a investigadores que se encontravam mais afastados do Centro de Computação. A construção deste embrião de rede coincidiu com o desenvolvimento da Internet na comunidade académica americana.

Os investigadores portugueses estavam cientes da utilidade que este novo meio proporcionava, pelo que trabalharam no sentido de expandir o embrião de rede existente, para uma rede baseada em tecnologias da Internet.

Perante a necessidade de estender a todos os investigadores nacionais o acesso a este tipo de recursos, dispendiosos e sempre escassos, bem como a outros recursos e serviços, a FCCN adoptou como objectivo seguinte, o estabelecimento de uma rede de dados de âmbito nacional. Esta rede, destinada a ligar as Instituições de Ensino Superior e Laboratórios de Investigação, passou a constituir um projecto designado por Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN), que teve início em 1989.

À luz das restantes congéneres europeias, a RCCN possibilitava à comunidade científica nacional, a utilização de serviços baseados em diferentes tecnologias, tais como OSI, TCP/IP, DECnet, etc, procurando desta forma não forçar a adopção de nenhuma tecnologia em particular e simultaneamente captar a maior parte da comunidade científica. Tal como nas restantes redes europeias congéneres, o TCP/IP veio a ser a tecnologia predominante.

Inicialmente a RCCN era uma rede de terminais remotos. Ao longo do tempo novos serviços foram sendo adicionados, como por exemplo o correio electrónico, o serviço de transferência de ficheiros, o serviço de *Domain Name System* (DNS) e o WWW entre outros. Actualmente a RCCN liga 15 Universidades, 15 Institutos Politécnicos, 8 Laboratórios do Estado e várias instituições sem fins lucrativos.

A conectividade internacional X.25 e TCP/IP era inicialmente fornecida através de um ponto de acesso privado à rede EuropaNET, permitindo desta forma ligar a comunidade científica nacional às restantes comunidades congéneres da Europa. Posteriormente estabeleceu-se uma ligação à rede Europeia EBONE (European backBONE), que suportava tráfego IP nativo.

Actualmente a RCCN tem ligação com as congéneres europeias através da ligação à rede TEN-155 e com a restante Internet mundial. Os acessos internacionais são a 17 Mbps para os Estados Unidos e a 17 Mbps para o TEN-155.

Em 1997, o Ministério da Ciência e Tecnologia estabeleceu com a FCCN um acordo para ligar à Internet todas as escolas, públicas e privadas, do 5º ao 12º ano, assim como escolas do 1º ciclo, bibliotecas, museus e centros de formação. Como resultado nasceu a Rede Ciência, Tecnologia e Sociedade (RCTS), sendo Portugal um dos primeiros países da Europa a implementar uma medida deste tipo. A RCTS é pois uma rede distinta da RCCN mas que utiliza, parcialmente, a sua infra-estrutura. Futuramente, prevê-se que a RCTS integre a RCCN na sua estrutura.

Figura 1 – Mapa RCCN

2.13. Conclusão

Rapidamente nos podemos aperceber que o que hoje conhecemos como sendo a Internet, não é mais nem menos do que o produto da investigação das comunidades académicas e científicas de diversas partes do mundo, principalmente da dos Estados Unidos, onde a rede nasceu.

Para que tal desenvolvimento se verificasse, em muito contribuíram os programas de desenvolvimento promovidos por instituições governamentais de vários países, com a criação das respectivas redes nacionais, dando assim às instituições académicas e de investigação a possibilidade de explorar e desenvolver este vasto universo.

Outra contribuição para o desenvolvimento e disseminação da Internet deu-se quando esta foi aberta a organizações de carácter comercial (1989), o que provocou a explosão quer em termos de utilizadores quer em termos de serviços oferecidos.

O crescimento da Internet obriga, por um lado, a um trabalho técnico incessante por parte dos responsáveis por operar a rede, assim como obriga a que se continue a disponibilizar novos serviços e tecnologias que suportem este desenvolvimento.

No Continente Europeu, devido às suas características particulares, este desenvolvimento foi mais lento, em parte porque o mercado de telecomunicações não estava liberalizado. Sendo as operadoras de telecomunicações a fornecerem as infra-estruturas de comunicação e sendo por elas adoptada a tecnologia X.25, toda e qualquer evolução noutro sentido tinha enormes obstáculos, visto que as operadoras tinham primeiro em conta os seus interesses.

Com a criação da Comunidade Europeia e com a liberalização do comércio, nomeadamente no sector das telecomunicações, novas perspectivas se abrem.

Apesar de se começar com quase 20 anos de atraso em relação aos Estados Unidos, muito terreno foi recuperado. Talvez ainda seja possível recuperar o atraso existente na "Internet Europeia" relativamente à de países como os Estados Unidos ou o Canadá.

Capítulo 3: Perspectivas futuras de evolução da Internet

3.1. Introdução

Como se viu no capítulo anterior, as tecnologias da Internet são oriundas dos Estados Unidos, essencialmente no seio das comunidades académicas e de investigação. Exceptuam-se as tecnologias da Web, que foram inventadas por investigadores do instituto Europeu CERN.

Os investimentos do governo dos Estados Unidos na investigação e desenvolvimento da Internet revelaram-se um enorme sucesso. A Internet cresceu cerca de 100% por ano desde 1988, e o tráfego cresceu cerca de 400% por ano.

A Internet levou ao aumento das comunicações, à emergência do comércio electrónico e o desenvolvimento da indústria de conteúdos criou

empregos e um vasto leque de novas indústrias, estando muitas organizações comerciais e governamentais dependentes dela.

Neste capítulo apresenta-se as consequências da gestão da rede da comunidade académica por entidades comerciais, nos Estados Unidos, e as iniciativas mais relevantes no que diz respeito ao desenvolvimento de novas infra-estruturas e serviços para a Internet do futuro.

3.2. Gestão da rede por operadores comerciais

Com o crescimento comercial da Internet nos Estados Unidos, o governo decidiu em 1995 que não deveria ser mais da sua responsabilidade operar os serviços da Internet para as Universidades. Assim, deixou de financiar a rede que fornecia estes serviços às Universidades, a NFSnet, passando esta tarefa a ser assegurada por operadores comerciais. Os fundos utilizados na NSFnet foram distribuídos pelas Universidades, para permitir que estas comprassem os serviços que necessitavam aos fornecedores comerciais.

Dois anos depois, tornou-se evidente que esta não era uma solução satisfatória para as Universidades, que tinham de competir pela largura de banda com companhias privadas e com o público em geral. A largura de banda que necessitavam para o desenvolvimento de serviços de rede avançados não estava disponível, devido ao contínuo crescimento de utilizadores que ia consumindo a largura de banda existente, sem que os operadores manifestassem grande interesse em desenvolver as estruturas existentes.

Tornou-se notório então o declínio do envolvimento das Universidades no desenvolvimento de novos serviços Internet, devido à falta de recursos.

3.3. As novas iniciativas

Nos dias de hoje, a Internet tem que satisfazer as necessidades de milhões de utilizadores. Espera-se que, por volta do ano 2000, mais de metade da população dos Estados Unidos tenha acesso à rede. Contudo, face às necessidades no que diz respeito à largura de banda e aplicações multimédia as capacidades disponíveis são manifestamente insuficientes.

Consequentemente, por forma a colmatar estas necessidades e permitir que a indústria e o público beneficiem dos novos desenvolvimentos na área da computação e das telecomunicações, algumas Universidades e o Governo juntaram forças para assegurar o desenvolvimento de novos serviços, criando assim as iniciativas *Next Generation Internet* (NGI) e Internet2.

O principal objectivo destas iniciativas era tentar repetir o sucesso do primeiro ciclo de desenvolvimento da Internet, que teve lugar nos centros de investigação e nas Universidades nas décadas de 70 e 80. O fruto desse desenvolvimento é a Internet que desfrutamos hoje. Espera-se que o resultado destas iniciativas se torne na Internet do próximo século.

3.3.1. NGI - Next Generation Internet

A iniciativa americana, Next Generation Internet (NGI) teve início em Outubro de 1997. É um programa de investigação e desenvolvimento promovido por várias agências federais, envolvendo instituições governamentais, de investigação e desenvolvimento e do sector comercial.

O Governo dos Estados Unidos procura, através desta iniciativa, ajudar a criar um ambiente, no qual seja possível romper com o passado, desenvolvendo tecnologias que até agora não estavam disponíveis, procurando assim criar redes que sejam mais poderosas e versáteis do que a actual Internet (NEXT GENERATION, 1999).

Os objectivos desta iniciativa são:

1. Investigação, desenvolvimento e experimentação das tecnologias necessárias para permitir a efectiva robustez e gestão segura da largura de banda (incluindo a alocação e partilha), qualidade de serviço e diferenciação na entrega de classes de serviços.

Estas tecnologias, em conjunto com o aumento da largura de banda disponível, permitirão satisfazer as necessidades da diferenciação de serviços, segurança, e aplicações com requisitos de tempo real, tais como a computação distribuída, teleoperação e telecontrolo.

2. Desenvolver redes de teste, enfatizando a performance extremo a extremo (end-to-end), para suportar a investigação e testar novas tecnologias.

Estas redes de teste ligarão pelo menos 100 Universidades, centros de investigação federal e outros parceiros a velocidades 100 vezes superiores às actuais, e ligarão cerca de 10 instituições com velocidades 1000 vezes superiores às suportadas actualmente na Internet.

Esta conectividade extremo a extremo (entenda-se como a ligação entre dois postos de trabalho), será a velocidades de 100 ou mais Mbps a 1 ou mais Gbps.

Algumas redes já possuem velocidades da ordem de 622 Mbps no backbone e alguns caminhos (links) experimentais já funcionam a 1 ou mais Gbps. Contudo, normalmente as ligações extremo a extremo são tipicamente limitadas a menos de 10Mbps devido aos engarrafamentos ou incompatibilidades nos comutadores, encaminhadores, redes locais e postos de trabalho.

Estas redes de teste funcionarão como um laboratório distribuído. Permitirão que ligações extremo a extremo tenham velocidades pelo menos 100 vezes superiores às da actual Internet para os participantes da iniciativa

NGI. Esta rede será suficientemente grande para fornecer um sistema total de teste de hardware, software, protocolos, segurança e gestão da rede, que serão requisitos essenciais da futura Internet comercial.

Devido à natureza pioneira e arriscada, o desenvolvimento de tecnologias de comutação *(switching)* e transmissão ultra-rápidas e ligações extremo a extremo a 1 ou mais Gbps, será limitado a aproximadamente 10 instituições e a um número limitado de aplicações.

As redes de teste serão desenvolvidas sobre as seguintes já existentes:

- NFS very high performance Bockbone Network Service (vBNS)
- NASA's Research and Education Network (NREN)
- DoD's Defence Research and Education Network (DREN)
- DoE's Energy Sciences Network

3. Desenvolver e demonstrar aplicações revolucionárias, que necessitam dos requisitos fornecidos pelos objectivos anteriores, e que não seria possível desenvolver na Internet actual.

Neste ponto, os objectivos desta iniciativa são bastante próximos dos objectivos da iniciativa Internet2, resultado do esforço de mais de 120 instituições que procuram criar e suster uma posição de liderança no que diz respeito ao desenvolvimento de engenharia de redes, ferramentas de gestão e aplicações para investigação avançada e educação.

As instituições participantes na NGI estabeleceram um processo de selecção coordenado para identificar as aplicações apropriadas para serem desenvolvidas e testadas, sendo aplicações que requerem capacidades de rede avançadas.

De entre as agências participantes, destacam-se as seguintes:

- DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency
- DOE - Department of Energy
- NASA - National Aeronautics and Space Administration
- NSF - National Science Foundation
- NIST - National Institute of Standards and Technology
- NLM - National Library of Medicine
- NIH - National Institute of Health

Das áreas e aplicações a desenvolver destacam-se:

- Bibliotecas digitais
- Computação distribuída
- Privacidade e segurança
- Operações remotas e simulação
- Sistemas de tempo real

3.3.2. Internet2

A Internet2 é o fruto da junção de esforços por parte da comunidade académica, Governo e parceiros da indústria, que se juntaram para acelerar o processo de criação da Internet da nova geração. Esta iniciativa conta com o esforço de mais de 120 Universidades americanas, que procuram desenvolver tecnologia e aplicações para a Internet da nova geração, vitais para a investigação e educação. Este projecto é da responsabilidade da UCAID *(University Corporation for Advanced Internet Development).*

A iniciativa Internet2 foi fundada em Outubro de 1996, tendo o projecto sido planeado para durar entre 3 a 5 anos, com a participação inicial de Universidades, agências federais e empresas dos sectores das telecomunicações e computadores (INTERNET2 MISSION, 1999).

Os principais objectivos desta iniciativa são:

- Criar novas aplicações que possam melhorar significativamente a capacidade dos investigadores colaborarem e conduzirem experiências.
- Criar serviços que tirem partido da "proximidade virtual" criada por uma estrutura de comunicações avançada (ex. saúde, realidade virtual, educação).
- Suportar o desenvolvimento e a adopção de aplicações, através do fornecimento de *middleware* e de ferramentas de desenvolvimento.
- Facilitar o desenvolvimento, desdobramento e operação de uma infra-estrutura de comunicações que seja capaz de suportar Qualidade de Serviço (QoS) diferenciada, baseada em requisitos de aplicações da comunidade investigadora e académica.
- Promover experiências com a nova geração de tecnologias de comunicação.
- Coordenar a adopção de trabalhos standard e práticas comuns entre instituições participantes para garantir Qualidade de Serviço extremo a extremo e interoperabilidade.
- Catalisar parcerias com organizações do sector governamental e privado.
- Encorajar a transferência de tecnologia da Internet2 para o resto da Internet.
- Estudar o impacto da nova infra-estrutura, serviços e aplicações na educação e na comunidade da Internet em geral.

A Internet2 complementa e fortalece a iniciativa NGI, colaborando, cooperando e juntando-se nos pontos que lhe são comuns.

Um dos principais objectivos desta iniciativa é facilitar e coordenar a criação de uma arquitectura de aplicações e ferramentas de desenvolvimento de aplicações, que possam tirar partido de serviços de rede avançados.

Muitos dos exemplos vão requerer estações de trabalho e funcionalidades dos sistemas operativos que ainda não estão disponíveis, o que exigirá o desenvolvimento de uma estratégia e definição de metodologias que permitam responder a estas necessidades.

Exemplos de aplicações e ferramentas de desenvolvimento de aplicações são:

- Ensino à distância
- Bibliotecas digitais
- Tele-imersão
- Laboratórios virtuais
- Monitorização ambiente

Desta iniciativa destacam-se o projecto DVN *(Digital Video Network)*, o DSI *(Distributed Storage Infraestruture)*, o QBONE e o ABILANE

O DVN *(Digital Video Network)* é um projecto através do qual se procura criar a nível nacional (Estados Unidos), um serviço de difusão de vídeo, para suportar aplicações baseadas na difusão de informação vídeo, através do qual seja possível distribuir conteúdos de cursos, documentários e videoconferência.

O DSI *(Distributed Storage Infraestruture)* é um projecto através do qual se procura resolver os problemas associados à partilha e uso de conteúdos educacionais. Procura-se através deste criar uma infra-estrutura e estratégias para suportar canais para a academia, apelidados de Canais de Conteúdos Internet *(Internet Content Chanels)*, permitindo que conjuntos de ficheiros

replicados sejam transparentemente entregues aos utilizadores finais, na base de alguma política previamente definida.

O QBONE é o projecto através do qual se procura criar um ambiente de testes para serviços diferenciados, onde engenharia, comportamento e políticas, consequentes de novos serviços baseados em tecnologias IP possam ser explorados, com ênfase para a qualidade de serviço.

O ABILANE é um projecto da UCAID, através do qual se procura criar uma infra-estrutura de comunicações, para ligar os pontos de agregação de redes, denominados GigaPop's.

Esta infra-estrutura funciona como uma rede separada, por forma a dar suporte ao desenvolvimento de novas capacidades de rede, para que possam ser utilizadas no desenvolvimento de novas aplicações. Espera-se que os novos serviços incluam standards de qualidade de serviço (QoS), multicast, elevada segurança e protocolos de autenticação.

Capítulo 4: Avaliação da qualidade das redes

4.1. Introdução

O rápido crescimento que a Internet tem vindo a verificar, traz muitas preocupações no que diz respeito à manutenção da qualidade e estabilidade das suas infra-estruturas.

O desenvolvimento de novas aplicações que requerem cada vez maior largura de banda, assim como o rápido aumento do número de utilizadores, implica um aumento do tráfego global, o que pode resultar numa aparente degradação da qualidade global da Internet, se não se proceder ao melhoramento das infra-estruturas da mesma.

Conforme se pode verificar na Tabela 1, o número de computadores que se ligam à Internet praticamente duplica de ano para ano, em Agosto de 1999

estimava-se que o número de computadores ligados à Internet eram cerca de 61,5 milhões, dos quais cerca de 3,25 milhões eram servidores WWW.

Tabela 1– Evolução dos computadores ligados à Internet

Data	Computador
Agosto-81	213
Agosto-83	562
Outubro-85	1.961
Outubro-87	28.174
Outubro-89	159.000
Outubro-90	313.000
Outubro-91	617.000
Outubro-92	1.136.000
Outubro-93	2.056.000
Outubro-94	3.864.000
Julho-95	6.642.000
Julho-96	12.881.000
Julho-97	19.540.000
Setembro-98	35.000.000
Agosto-99	61.436.385

Atendendo a estes factos, o desenvolvimento de sistemas de avaliação da qualidade das infra-estruturas é fundamental. Através destes sistemas é possível realizar diagnósticos e fazer classificações das infra-estruturas, ajudando os responsáveis a determinar a altura em que se devem introduzir melhoramentos, permitindo também que, através destes sistemas, os utilizadores tenham uma compreensão mais rigorosa sobre a qualidade e fiabilidade da infra-estrutura de que dispõem.

Para desenvolver sistemas de avaliação da qualidade da Internet é necessário definir que aspectos da Internet se vão avaliar, assim como a forma de obtenção dos dados. Neste capítulo procura-se descrever quais os parâmetros que podem ser utilizados para avaliar a Internet, assim como a forma de parametrização dos mesmos.

Para que se entenda de uma forma mais fácil estes parâmetros, também se faz uma breve descrição da forma como a informação é trocada entre computadores que estão ligados à Internet.

4.2. Critérios a utilizar na definição e implementação de Métricas

Na Internet existem vários parâmetros relacionados com a qualidade e fiabilidade da mesma, dos quais se gostaria de saber o valor. Quando esses parâmetros são cuidadosamente especificados são apelidados de métricas (PAXSON, 1998).

É claro que, se não existisse uma normalização, poderia acontecer que, sistemas de análise distintos, ao utilizarem as mesmas métricas para a classificação da Internet, apresentassem valores completamente diferentes. Esta situação aconteceria se nestes sistemas se utilizassem estratégias completamente diferentes de obtenção das respectivas métricas.

Por forma a definir um conjunto de regras a serem utilizadas na definição e implementação de métricas particulares de análise da Internet, Vern Paxson, Guy Almes, Jamshi Mahdavi e Matt Mathis elaboraram o RFC 2330 (PAXSON, 1998), procurando com esta normalização evitar situações como a descrita anteriormente.

Neste documento (PAXSON, 1998) são apresentados alguns critérios que se devem utilizar quando se procura definir uma métrica e respectiva metodologia de medida.

Alguns critérios a utilizar na definição de métricas são:

- As métricas devem ser concretas e bem definidas,
- Devem ser repetitivas: se a metodologia for utilizada em condições idênticas, resultados idênticos devem resultar quando se executam os mesmos testes,
- As métricas não devem apresentar tendências, quando se trata de redes IP utilizando a mesma tecnologia,
- Devem ser úteis para os utilizadores e fornecedores poderem compreender a performance da rede que usufruem ou fornecem.

No que diz respeito aos critérios a utilizar na implementação de métricas deve-se ter em conta os seguintes aspectos:

- Unidades de medida - Cada métrica deve ser definida utilizando unidades de medida standard,
- Metodologia de Medida - Deve ter a propriedade de ser repetitiva, e se for utilizada várias vezes em condições idênticas, deve fornecer medidas consistentes. Como metodologias de medida possíveis, tem-se:
    - Obtenção dos valores da métrica a partir da injecção de tráfego na rede,
    - Projecção dos valores de uma métrica, recorrendo aos valores de medidas de níveis mais baixos,
    - Determinação por estimativa dos valores da métrica em causa através dos valores de outras métricas.
- Erros e incertezas - Mesmo as melhores metodologias de medida exibirão erros. Aqueles que as desenvolvem devem empenhar-se em minimizar erros e incertezas, documentar e compreender os mesmos, assim como quantificar a sua quantidade.

4.3. Métricas definidas

Face às especificações do RFC 2330, o *Internet Engineering Task Force* (IETF) tem um grupo de trabalho denominado *IP Performance Metrics Workin Group (IPPM)*, que está a trabalhar na definição de métricas que podem ser utilizadas para quantificar a performance ao longo de um caminho[2] da Internet, estando estas em conformidade com o descrito no RFC2330.

Algumas das métricas já definidas pelo IPPM são:

- Métricas para medir a Conectividade:
  - *IPPM Metrics for Mesuring Connectivity* (MAHDAVI, 1999),
- Métricas para medir a Perda de pacotes:
  - *A One-way Packet Loss Metric for IPPM* (ALMES, 1999a),
- Métricas para medir o Tempo de atraso:
  - *A One-way Delay Metric for IPPM* (ALMES, 1999b),
  - *A Round-trip Delay Metric for IPPM* (ALMES, 1999c),
  - *Instantaneous Packet Delay Variation Metric for IPPM* (DEMICHELIS, 1998),
- Métricas para medir o Débito:
  - *TReno Bulk Transfer Capacity* (MATHIS, 1999) .

A conectividade é o elemento sobre o qual assenta o funcionamento básico da Internet e de qualquer rede em geral. Diz-se que existe conectividade quando um computador consegue, através da rede, enviar informação para outro, ou de uma forma mais abrangente, quando dois computadores conseguem comunicar entre si.

---

[2] Entende-se como caminho da Internet, em inglês *path*, o percurso que uma mensagem faz, quando sai do computador origem e chega ao computador destino.

Perda de pacotes entende-se como a diferença entre o número de pacotes enviados pelo computador origem e o número de pacotes recebidos pelo computador destino.

Tempo de atraso entende-se como o tempo que decorre entre o instante de tempo em que um pacote sai do computador origem e chega ao computador destino.

Débito define-se como a quantidade de informação que um computador consegue colocar na rede, sem que exista congestão, sendo medida em bits/s.

4.3.1. Razão da utilização destas métricas

Surge então a questão: Porquê utilizar a conectividade, a perda de pacotes, o tempo de atraso ou o débito como métricas para quantificar a performance ao longo de um caminho da Internet?

A razão mais do que óbvia para a utilização da métrica que permite medir a conectividade está ligada ao princípio básico de funcionamento de qualquer rede, isto é, uma rede só serve se permitir que computadores, a ela ligados, comuniquem entre si. A funcionalidade desta métrica é permitir saber se um computador origem consegue ou não contactar com determinado computador destino.

No que diz respeito à utilização do tempo de atraso, a razão da sua utilização prende-se com o facto de:

- Algumas aplicações não funcionam bem (ou não funcionam mesmo) se o tempo de atraso existente for superior a um determinado nível.
- Variações erráticas nos tempos de atraso podem tornar difícil ou mesmo impossível o funcionamento de algumas aplicações interactivas (ex. aplicações de tempo real).

- Quanto maior for o tempo de atraso, mais difícil é para os protocolos do nível de transporte manter débitos elevados.
- O valor mínimo que esta métrica fornece funciona como um indicador do atraso que poderá ser esperado quando se utiliza o caminho em causa.

No que diz respeito à utilização da perda de pacotes, a razão da sua utilização prende-se com o facto de:

- Algumas aplicações não funcionam bem (ou não funcionam mesmo) se o número de pacotes perdidos for superior a um determinado nível.
- A excessiva perda de pacotes pode tornar difícil ou mesmo impossível o funcionamento de algumas aplicações interactivas, como por exemplo aplicações de tempo real, onde o termo "excessivo" depende do nível suportado pela aplicação.

No que diz respeito à utilização do débito, a razão da sua utilização prende-se com o facto de:

- Algumas aplicações não funcionam bem (ou não funcionam mesmo) se o débito for inferior a um determinado nível.
- Variações erráticas do débito podem tornar difícil ou mesmo impossível o funcionamento de algumas aplicações interactivas (ex. aplicações de tempo real).
- O valor mínimo que esta métrica fornece funciona como um indicador do débito que poderá ser esperado quando se utiliza o caminho em causa.

4.4. Metodologias de medida

Metodologias de medida são os processos que se utilizam para se obter os valores das medidas que se pretendem efectuar (PAXSON, 1998). Podem obter-se a partir da injecção de tráfego na rede, por projecção, recorrendo a valores de medidas de níveis mais baixos, ou por estimativa, através dos valores de outras métricas.

4.4.1. Sistema Um e Dois sentidos

Para que dois computadores procedam à troca de informação, é necessário que esta percorra o caminho entre a origem e o destino. Dependendo do tipo de informação que é trocada, esta pode ter que se processar num sentido ou mesmo nos dois sentidos (MAHDAVI, 1999). Definiu-se então o conceito **um sentido** e **dois sentidos**.

- **Um sentido (One-way)**: Neste sistema, conforme é ilustrado na Figura 2, a informação é enviada pelo computador origem e é recebida pelo computador destino, tendo certamente durante o seu percurso encontrado alguns nós, habitualmente encaminhadores, os quais se encarregaram de encaminhar o pacote.

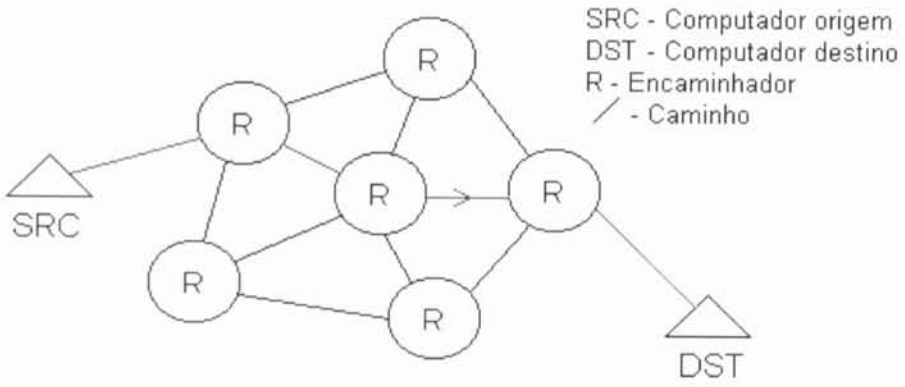

Figura 2 – Sistema um sentido (One-way)

- **Dois sentidos (Two-way)**: Neste sistema a informação é enviada pelo computador origem e quando chega ao computador destino, este retorna a informação para a origem, ou então, através de um determinado processo, informa a origem que recebeu a referida informação. Normalmente, o caminho de ida é igual ao caminho de volta. Contudo, se o sistema de caminhos for assimétrico, os trajectos podem ser diferentes, como ilustra a Figura 3. Nesta situação, os encaminhadores que durante o percurso de ida se encarregam de encaminhar o pacote não são os mesmos que se encarregam de encaminhar o mesmo no percurso de volta.

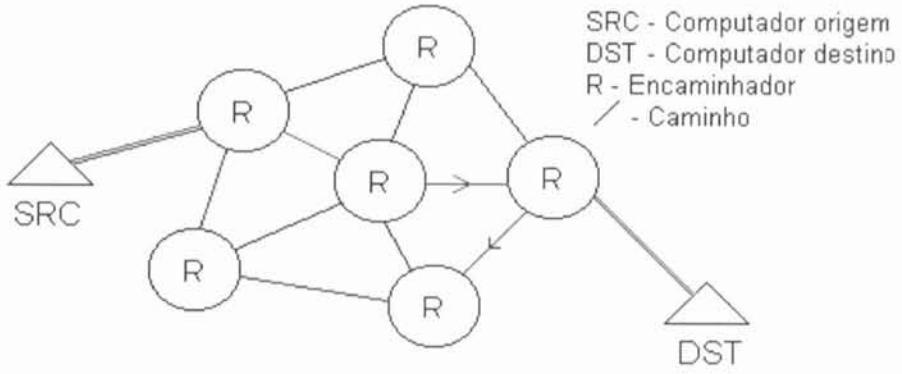

Figura 3 – Sistema dois sentidos (Two-way)

Devido a estes factos, definiram-se métricas que podem ser utilizadas para determinar a conectividade (MAHDAVI, 1999), o tempo de atraso (ALMES, 1999b) (ALMES, 1999c), assim como a perda de pacotes (ALMES, 1999a), no sistema **um sentido** e no sistema **dois sentidos**.

4.4.2. Motivação para a utilização do sistema Um ou Dois sentidos

Existem várias razões que podem levar a optar por um ou por outro sistema. Algumas das razões que levam à utilização do sistema **um sentido** são referidas de seguida:

- Na Internet de hoje, o caminho que um pacote percorre entre a origem e o destino pode ser literalmente diferente do que é feito quando o pacote volta do destino para a origem. Este sistema designa-se de "caminhos assimétricos". Portanto, medindo cada caminho individualmente, permite obter valores com maior exactidão, uma vez que cada trajecto pode implicar a utilização de redes de diferentes fornecedores ou até mesmo diferentes tipos de redes, o que implica forçosamente valores diferentes. Logo, quando se realizam medidas de ida e volta, o que se obtém é o resultado da soma de dois caminhos diferentes.
- Mesmo que o caminho de ida seja igual ao caminho de volta, podem existir grandes diferenças, por exemplo, o tempo de atraso verificado quando o pacote vai de A para B pode ser bastante diferente do tempo de atraso de B para A.
- A performance de determinadas aplicações pode depender mais da performance de um dos sentidos (ida ou volta). Por exemplo, a transferência de um ficheiro utilizando o protocolo TCP pode depender mais da performance do sentido em que fluem os dados do que do sentido em que fluem as confirmações.
- Redes que ofereçam qualidade de serviço (QoS) podem oferecer qualidades de serviço diferentes conforme se utilize o caminho de ida ou o de volta. Medindo os caminhos independentemente, pode verificar-se qual a qualidade de serviço oferecida em cada caminho.

Algumas das razões que levam à utilização do sistema **dois sentido** são referidas de seguida:

- Fácil de desenvolver, pois ao contrário da implementação **um sentido**, é muitas vezes possível realizar medidas sem ser necessário instalar qualquer tipo de hardware ou software específico no computador destino. Desta forma eliminam-se possíveis problemas que possam surgir devido à necessidade de sincronização de relógios e à precisão dos mesmos. Uma variedade de programas bem conhecidos utilizam este método, como por exemplo o `ping`, `traceroute`, `traceping`, etc.
- Fácil interpretação, pois em determinadas situações este tipo de medida é a que traduz maior interesse, uma vez que se se quiser calcular, por exemplo, o tempo de ida e volta a partir do tempo de ida, pode-se incorrer em erros de cálculo.

4.5. Comunicação através da Internet

Como já anteriormente foi referido, um dos grandes impulsionadores do desenvolvimento da Internet foi, sem dúvida alguma, o tipo de protocolos utilizados para o estabelecimento das comunicações entre os computadores.

Por forma a que seja possível compreender a forma de funcionamento de alguns programas que apresentam os valores de determinadas métricas, faz-se em seguida a descrição do funcionamento de alguns dos protocolos desta família, assim como do programa `ping`, que será mencionado como uma das ferramentas utilizadas para a obtenção de métricas.

4.5.1. A utilização do TCP/IP

Conforme já anteriormente mencionado, o TCP/IP impôs-se como um standard de facto. A "família de protocolos TCP/IP", ou mais simplesmente TCP/IP, é constituída por um conjunto de protocolos que permitem que

computadores produzidos por diferentes fabricantes e correndo diferentes sistemas operativos, comuniquem entre si.

Geralmente, os protocolos de comunicações desenvolvem-se recorrendo à sua divisão em níveis, sendo cada nível responsável por determinados aspectos da comunicação. O TCP/IP resulta da combinação de diferentes protocolos, organizados em quatro níveis como se pode ver na Figura 4.

Figura 4 – Os quatro níveis do TCP/IP

Cada nível tem uma responsabilidade diferente:

1. O nível *Físico* é normalmente constituído pelo interface de ligação à rede (placa de rede) e pelo respectivo software (*device driver*) que permite que o sistema operativo comunique com o interface de ligação à rede. Em conjunto, são responsáveis pela transmissão da informação no meio físico.

2. O nível de *Rede* é responsável pelo encaminhamento dos pacotes através da rede, assim como pelo controlo de congestão da mesma. O IP e ICMP são exemplos de protocolos deste nível.

3. O nível de *Transporte* é responsável pelo controlo de fluxo e controlo de erro da informação que é trocada entre dois computadores, sendo o TCP e o UDP os dois protocolos deste nível.

4. O nível de *Aplicação* trata dos detalhes de cada aplicação em particular.

Muitas das aplicações que correm em ambientes de rede, foram escritas assumindo uma arquitectura cliente – servidor. A designação desta arquitectura provém do facto de o servidor fornecer serviços aos clientes, podendo um servidor servir vários clientes em simultâneo. Exemplos deste tipo de aplicações são o FTP, Telnet, WWW, News, IRC, etc.

Se tivermos dois computadores ligados a uma rede *Ethernet*, utilizando o protocolo FTP para transferência de ficheiros, sendo um o cliente e outro o servidor, podemos ver na Figura 5 a pilha protocolar implementada por cada um. Cada nível só comunica com o homólogo.

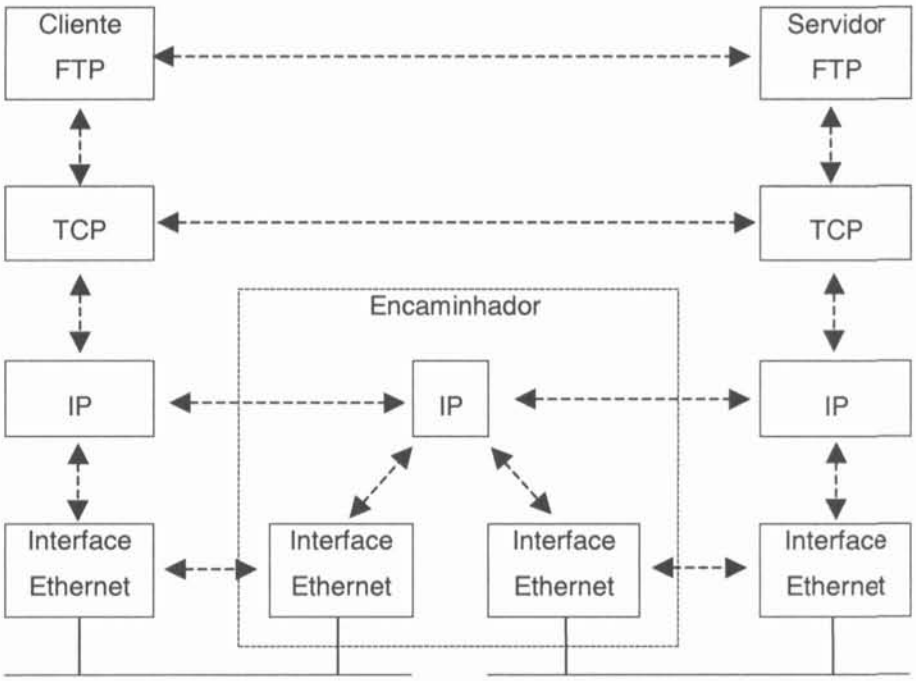

Figura 5 – Duas redes interligadas por um encaminhador

Existe uma diferença crítica entre o nível *Aplicação* e os restantes. O nível *Aplicação* preocupa-se apenas com os detalhes da aplicação e não com o movimento da informação na rede. Os outros três níveis apenas se preocupam com a comunicação da informação, não necessitando saber nada sobre a aplicação que quer enviar a informação.

Como se pode verificar na Figura 5, se existir um encaminhador entre duas redes, este apenas implementa os níveis *Físico* e *Rede*, os níveis de *Transporte* e *Aplicação* apenas são implementados nos computadores *(end systems)*.

Sempre que um computador quer enviar informação para a rede, essa informação vai descendo os níveis protocolares até ser enviada pela rede como um conjunto de bits. Cada nível coloca informação através da introdução de cabeçalhos (e por vezes caudas) na informação que vai recebendo. A Figura 6 demonstra este facto. A unidade de informação que o TCP passa para o IP é denominada *segmento* TCP. A unidade de informação que o IP passa para o interface de comunicação é denominada *datagrama* IP e o conjunto de bits que é colocado na rede é denominado *frame*.

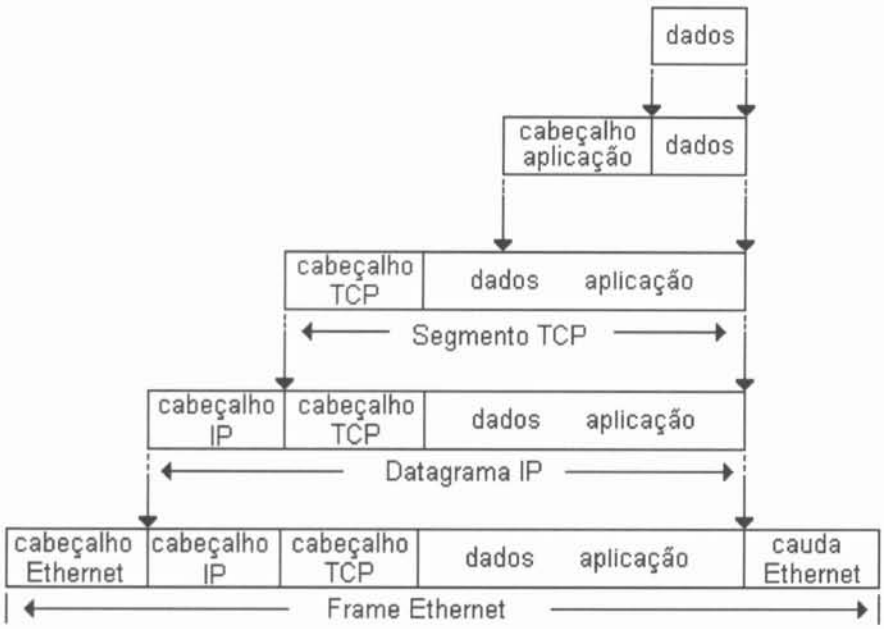

Figura 6 – Encapsulamento TCP/IP

Por sua vez, quando um computador recebe informação da rede, esta vai percorrendo os níveis protocolares pela ordem inversa, procedendo-se em

cada nível à remoção dos respectivos cabeçalhos (e/ou caudas) colocados anteriormente, até esta informação ser entregue à aplicação.

No que diz respeito à classificação do serviço oferecido, o IP é um protocolo considerado não fiável, ou seja, o IP oferece um serviço *"best effort"* uma vez que não garante que todos os datagramas chegarão ao seu destino. Se existir um problema com um encaminhador, como por exemplo, falta de capacidade de armazenamento, o IP tem um pequeno sistema de tratamento de erros: o datagrama é deitado fora e tenta enviar uma mensagem ICMP de erro para o emissor do datagrama.

Como não é orientado à conexão, também não garante que os datagramas sejam entregues pela ordem correcta, uma vez que não mantém nenhuma informação de estado de datagramas sucessivos. Cada datagrama é tratado individualmente, se um computador origem enviar dois datagramas consecutivos (primeiro A, depois B) para um computador destino, cada um é encaminhado individualmente, podendo cada um seguir por caminhos diferentes e, inclusive, o datagrama B chegar primeiro que o datagrama A.

Por seu turno, o TCP é um protocolo considerado fiável, uma vez que é orientado à conexão, pelo que, antes de enviar qualquer informação, é estabelecida uma ligação através dos mecanismos apropriados. Assim, este garante a entrega da informação pela ordem correcta, assim como assegura o controlo de erro e de fluxo da informação.

Em seguida descreve-se o funcionamento de alguns protocolos e aplicações que são importantes no âmbito deste trabalho.

4.5.2. Protocolo ARP

Um meio físico como *Ethernet* ou *Token Ring*, utilizados para a transmissão da informação, têm o seu esquema de endereçamento próprio (endereços de 48 bits no caso de se tratar de uma *Ethernet* ou *Token Ring*), ao qual o nível de rede se tem de adaptar.

Através de organismos coordenadores, garante-se que este tipo de endereço seja único. Quando um fabricante produz um interface para uma rede, coloca nesse interface um endereço que é único, que se denomina endereço de hardware.

Uma rede *Ethernet* pode assim ser utilizada por diferentes protocolos de rede ao mesmo tempo. Como exemplo podemos ter, na mesma *Ethernet,* um conjunto de computadores a utilizar a família de protocolos TCP/IP e outro conjunto a utilizar protocolos Apple Talk.

Quando uma frame *Ethernet* é enviada de um computador para outro, é o endereço de hardware que determina para qual interface a frame é destinada. O *device driver* do interface nunca lê o endereço IP do destinatário existente no datagrama IP, uma vez que este é do nível de *Rede* e o *device driver* é do nível *Físico*.

O *Adress Resolution Protocol* (ARP) (PLUMMER, 1982) permite fazer o mapeamento entre as duas diferentes formas de endereçamento: endereço IP (32 bits) e endereço de hardware, seja ele de que tipo for.

Quando é necessário fazer este mapeamento, o computador origem, se verificar que o computador destino pertence à mesma rede local, faz o seguinte pedido: "Quem tem este endereço IP, por favor responda com o respectivo endereço de hardware". Para tal, o computador origem envia um "ARP request" para o endereço de *broadcast*, contendo o endereço IP do computador destino. O computador cujo endereço IP corresponde ao que consta no "ARP request", responde com um "ARP replay", informando qual o seu endereço de hardware. Se o computador origem verificar que o computador destino está numa rede diferente, então a frame é enviada para o encaminhador, para que este

encaminhe a mesma para o destino. Nesta situação no cabeçalho IP temos o endereço IP do destino, e no cabeçalho *Ethernet* o endereço físico do encaminhador.

Para tornar este processo mais eficiente, cada computador mantém uma tabela de ARP, que contém os mapeamentos mais recentes. O tempo normal de duração de cada entrada nesta lista é, normalmente, 20 minutos a partir do momento que esta foi colocada na referida lista. Após ter passado este tempo, a entrada é removida da referida lista.

4.5.3. Protocolo ICMP

O protocolo ICMP *(Internet Control Message Protocol)* (POSTEL, 1981), como o próprio nome indica, é um protocolo utilizado para controlo. É utilizado pelos computadores, sempre que estes pretendem transmitir mensagens que normalmente são uma indicação da ocorrência de um determinado erro.

Um exemplo da sua utilização é quando um encaminhador pretende informar um computador que ocorreram erros numa mensagem que este enviou, por exemplo, quando o encaminhador não tem capacidade suficiente de armazenamento, ou quando uma mensagem não consegue chegar ao destino.

O ICMP utiliza como suporte o IP (Internet Protocol) como se fosse um protocolo de nível mais alto. Contudo, o ICMP é um protocolo do nível de rede. O propósito deste protocolo é permitir informar acerca de problemas que existem no ambiente de comunicação, não querendo com este tornar o IP fiável.

As mensagens ICMP são enviadas utilizando os datagramas IP, conforme a Figura 7 exemplifica.

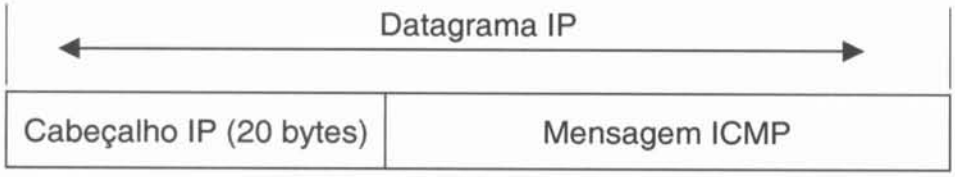

Figura 7 – Datagrama IP

A Figura 8 mostra o formato de uma mensagem ICMP.

Os primeiros 4 bytes têm o mesmo formato em todas as mensagens, os restantes diferem conforme o tipo de mensagem a que se refere.

1 byte	1 byte	2 bytes	Conteúdo que depende
Tipo	*Código*	*Checksum*	dos campos *"Tipo"* e *"Código"*

Figura 8 – Formato mensagem ICPM

O primeiro byte que constitui esta mensagem é o campo *"Tipo"*, cujo valor determina o formato dos restantes dados, podendo este tomar 15 valores diferentes.

As mensagens são determinadas pelos campos *"Tipo"* e *"Código"* (primeiros 2 bytes), sendo estas divididas em duas categorias:

- Mensagens de erro
- Mensagens de interrogação

Esta distinção faz-se pelo facto de uma mensagem ICMP de erro nunca ser gerada em resposta a outra mensagem ICMP de erro, por forma a evitar que se criem ciclos infinitos. Por sua vez, as mensagens ICMP de interrogação são mensagens que são enviadas solicitando uma resposta por parte do destinatário.

A Tabela 2 apresenta alguns exemplo de mensagens ICMP.

Tabela 2 – Exemplos de mensagens ICMP

Tipo	*Código*	Mensagem	Categoria
0	0	"echo reply"	Interrogação
3	1	"host unreachable"	Erro
3	3	"port unreachable"	Erro
3	5	"source rout failed"	Erro
3	7	"destination host unknown"	Erro
8	0	"echo request"	Interrogação

A cada mensagem de interrogação corresponde a respectiva mensagem de resposta.

Como exemplo temos que, para a mensagem "echo request", existe a mensagem "echo replay".

Tipo	*Código*	Mensagem
8	0	"echo request"
0	0	"echo replay"

Uma vez que os primeiros 4 bytes de uma mensagem ICMP têm sempre o mesmo formato, no caso de uma mensagem "echo request" o seu formato é o da Figura 9:

1 byte *Tipo (0 ou 1)*	1 byte *Código (0)*	2 bytes *Checksum*	2 bytes *Identificador*	2 bytes *Número de sequência*	Dados (opcional)

Figura 9 – Formato da mensagem ICPM "echo request/reply"

A forma de processamento destas mensagens ICMP, apresentada na Figura 10, é a seguinte: o computador identificado como origem utiliza o protocolo ICMP para enviar uma mensagem "echo request" para o computador

destino, o qual sabe que, ao receber uma mensagem "echo request" tem que responder com uma mensagem "echo replay", tendo o cuidado de retornar os dados contidos na mensagem "echo request" sem os alterar. Depois de enviar a mensagem, o computador origem espera receber como resposta uma mensagem ICMP "echo reply".

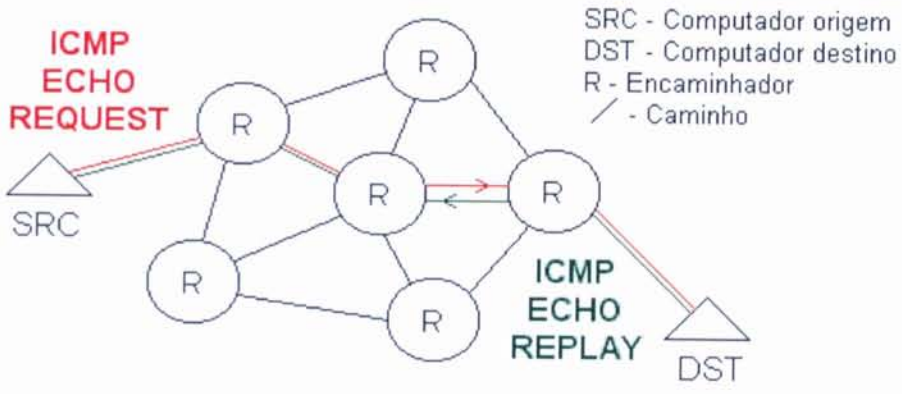

Figura 10 – ICMP ECHO

4.5.4. O Programa `ping`

O nome "ping" teve origem na operação de sonar utilizada para localizar objectos (STEVENS, 1994). O programa original foi escrito por Mike Muuss (MIKE MUUSS BIOGRAPHY, 1999), para testar se um computador está ou não acessível. Para tal, o programa envia uma mensagem ICMP "echo request" para o computador destino, esperando que este lhe devolva uma mensagem ICMP "echo reply".

Normalmente, se não se consegue obter resposta por parte do computador destino ao programa `ping`, também não se consegue estabelecer uma sessão de Telnet ou FTP com o mesmo. Por tal facto é que, normalmente, o primeiro teste que se faz, quando não se consegue estabelecer uma sessão de Telnet, FTP, ou outra qualquer com o computador destino, é executar este programa.

Este programa também mede o tempo de ida e volta (RTT), o que nos dá uma indicação da distância, em tempo, a que se encontra esse computador.

Como a maioria dos programas existentes na Internet, este também tem uma arquitectura cliente – servidor. Chama-se ***cliente*** ao computador que executa o programa `ping`, e ***servidor*** ao computador que se está a testar. Na maioria das implementações TCP/IP o programa instalado no servidor, **ping servidor**, é suportado directamente pelo núcleo do sistema operativo, não sendo este um processo do utilizador.

Tal como em outras mensagens ICMP de interrogação, o *servidor* deve retornar os campos *"Identificador"* e *"Número de sequência"* inalterados, assim como também deve retornar inalterado o campo *"Dados"*, no caso de existir, o qual pode ser do interesse do *cliente*.

Uma mensagem ICMP "echo request" ou "echo reply" tem o formato da Figura 11.

No sistema Unix, as implementações do `ping` colocam no campo *"Identificador"* das mensagens ICMP o número do processo que a originou. Isto permite que, se existirem várias instâncias deste programa a correr, que as mensagens ICMP sejam entregues às instâncias correctas.

1 byte	1 byte	2 bytes	2 bytes	2 bytes	Dados
Tipo (0 ou 1)	*Código (0)*	*Checksum*	*Identificador*	*Número de sequência*	(opcional)

Figura 11– Mensagem ICPM "echo request" ou "echo replay"

O campo *"Número de sequência"* inicialmente tem o valor zero e é incrementado sempre que um novo "echo request" é enviado. O programa `ping` imprime o número de sequência de cada mensagem que é retornada, o que permite verificar se as mensagens se perderam, foram duplicadas ou estão ordenadas. Qualquer um destes problemas pode ocorrer, uma vez que as mensagens ICMP são enviadas utilizando datagramas IP, e o IP oferece um serviço "best effort", como já foi referido.

Para que este programa possa ser executado, é necessário informar qual o computador que se quer testar, que tanto pode ser o nome (ex. ferrari.fe.up.pt), como o endereço IP (ex. 193.136.38.29). A utilização do endereço IP evita que o programa tenha que fazer uma consulta ao servidor de nomes para obter o endereço IP do respectivo computador.

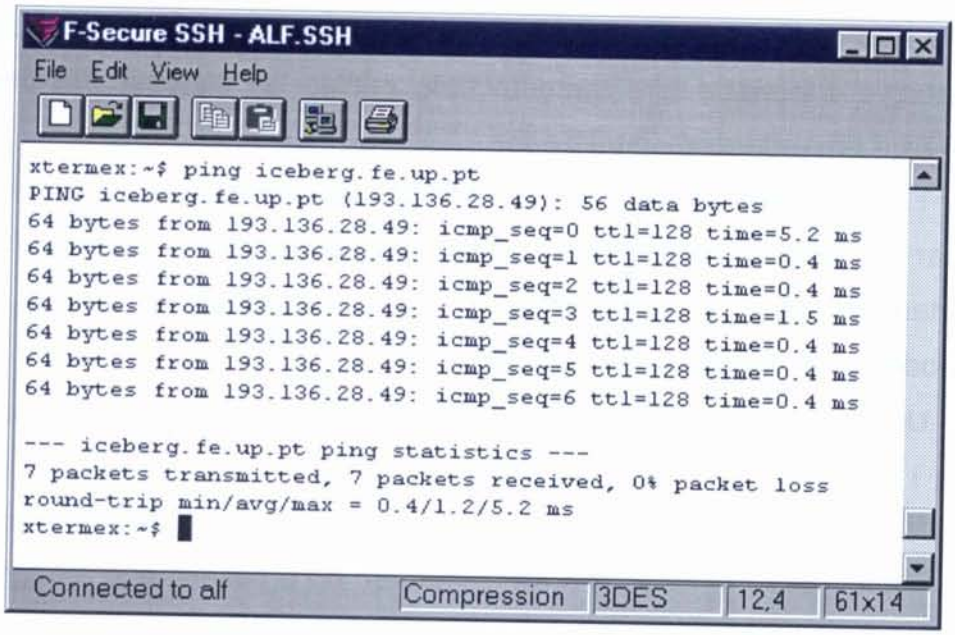

Figura 12 – Execução do `ping` numa rede local

Como se pode ver na Figura 12, a primeira linha retornada por este programa contem o endereço IP do computador que se está a testar. O tempo que decorre entre a execução do programa, e o surgimento da linha com o endereço IP do computador a testar, é o tempo necessário para recorrer a um servidor de nomes e resolver o nome do respectivo computador.

Quando uma mensagem ICMP "echo reply" é retornada, o seu número de sequência é impresso, na Figura 12 identificado como "icmp_seq", seguido pelo tempo de sobrevivência, identificado como "ttl", e pelo tempo de ida e volta (RTT), identificado como "time". "ttl" ou tempo de sobrevivência é obtido do respectivo campo no cabeçalho IP, que indica quantos nós o datagrama pode percorrer antes de ser descartado.

O programa `ping` consegue determinar o tempo de atraso de ida e volta (em inglês *Round Trip Time*), o qual se passará a referir como RTT, colocando para tal, na mensagem ICMP "echo request", o valor do relógio do sistema no campo *"Dados"*. Quando a mensagem ICMP "echo replay" é retornada, ele subtrai este valor ao valor actual do relógio do sistema, obtendo assim o RTT.

No caso de estarmos a testar computadores que estejam na mesma rede local, geralmente o primeiro RTT é maior que os restantes. Isto ocorre se o endereço de hardware não estiver na tabela *ARP* do cliente. Nesta situação, antes que a primeira mensagem ICMP "echo request" seja enviada, é determinado o endereço de hardware do destino, conforme descrito no Protocolo ARP, processo que demora sempre algum tempo. A Figura 12 demonstra esta situação.

Contudo, o mesmo comportamento pode não existir no caso de estarmos a testar um computador que se encontre na Internet. Como podemos verificar na Figura 13, dependendo da taxa de utilização da rede, o RTT da primeira mensagem ICMP "echo request" pode ser inferior ao de outras mensagens ICMP "echo request".

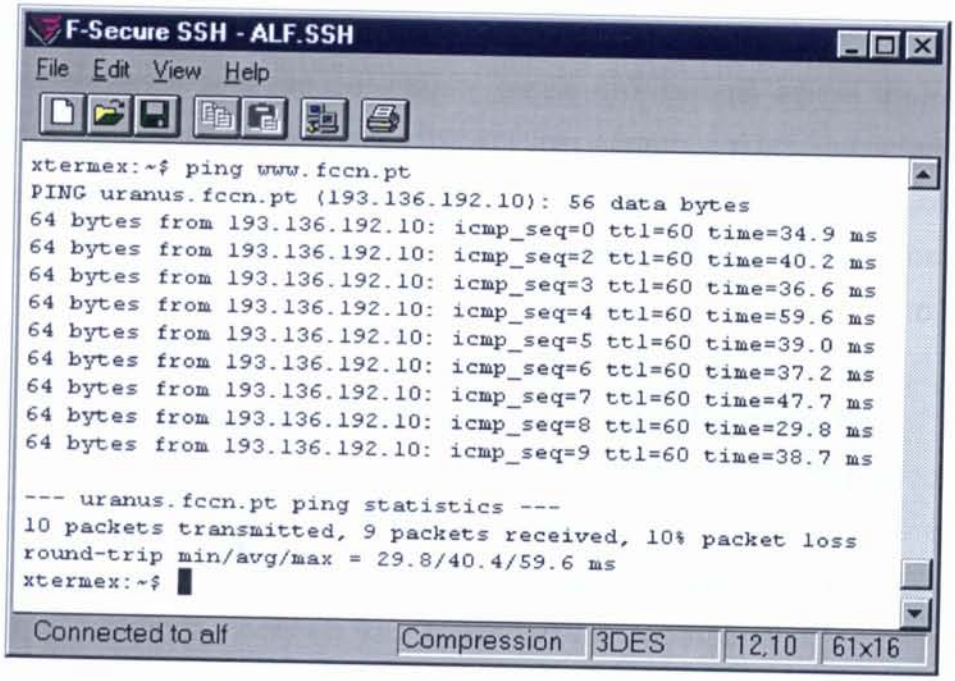

Figura 13 – Execução do `ping` na Internet

Para além de podermos verificar se a sequência das mensagens está correcta, se existem mensagens duplicadas ou se se perderam algumas, quando o programa termina, este apresenta o número de pacotes enviados e recebidos, a percentagem de pacotes perdidos e o RTT mínimo, médio e máximo.

O cálculo dos valores mínimo, médio e máximo do RTT para cada sequência de testes, são obtidos em função dos valores individuais, de cada mensagem.

O cálculo do número de pacotes perdidos é obtido, para cada sequência de testes, em função do número de datagramas que chegaram relativamente ao número de datagramas que foram enviados.

Versões mais actualizadas deste programa permitem a introdução de parâmetros opcionais (SIEVER, 1999), como o número de datagramas a enviar, o tempo de espera em segundos entre o envio de cada datagrama e o tamanho em bytes do datagrama a enviar, como se pode verificar na Figura 14.

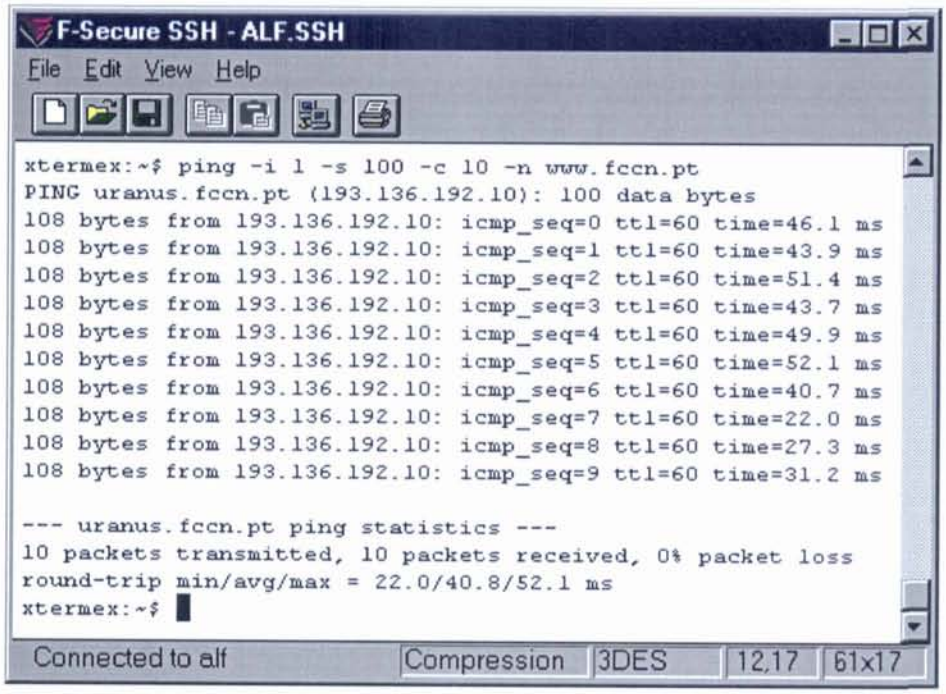

Figura 14 – Parâmetros opcionais do `ping`

Em resumo, este programa permite-nos fazer um teste básico de conectividade entre dois computadores que estejam ligados em rede e utilizando a família de protocolos TCP/IP.

Este programa não implementa toda a pilha protocolar do modelo TCP/IP, uma vez que utiliza mensagens ICMP, e o ICMP é um protocolo ao nível do IP (nível *Rede*).

Capítulo 5: Estudo e comparação de Sistemas de Monitorização e Avaliação Existentes

5.1. Introdução

Vários grupos de trabalho se têm dedicado às questões de avaliação e monitorização da Internet. Neste capítulo apresentam-se alguns dos sistemas que se encontram em funcionamento, e identificam-se quais as métricas utilizadas e qual ou quais os processos utilizados para obter os valores das referidas métricas.

5.2. RIPE Test Trafic Project

Henk Uijterwall e Olaf Kolkan desenvolveram, no *RIPE Network Coordination Center*, um projecto de teste de tráfego (UIJTERWALL, 1997), que tinha como objectivos a implementação de medidas independentes de parâmetros de conectividade, tais como atrasos e vectores de encaminhamento na Internet.

A ideia geral que está por trás deste projecto esquematiza-se na Figura 15. A rede local de cada ISP *(Internet Service Provider)* pode ser dividida em duas partes: a parte interna, que lida com o tráfego entre as máquinas dos clientes desta rede, e a parte externa que lida com o tráfego entre este ISP e outros ISP's. Este projecto apenas utiliza para análise a parte externa da rede.

Segundo os autores, os dois principais parâmetros que determinam a performance da rede entre dois ISP's são o débito e o tempo de atraso. O débito define-se como o número de bits que se consegue transferir entre dois ISP's por unidade de tempo e o tempo de atraso define-se como o tempo gasto entre o momento que o pacote sai de um ISP e o momento em que o pacote chega ao seu destino. Associado a estes parâmetros está um vector de encaminhamento, que é o vector que descreve o percurso que o tráfego efectua quando viaja desde um ISP até outro.

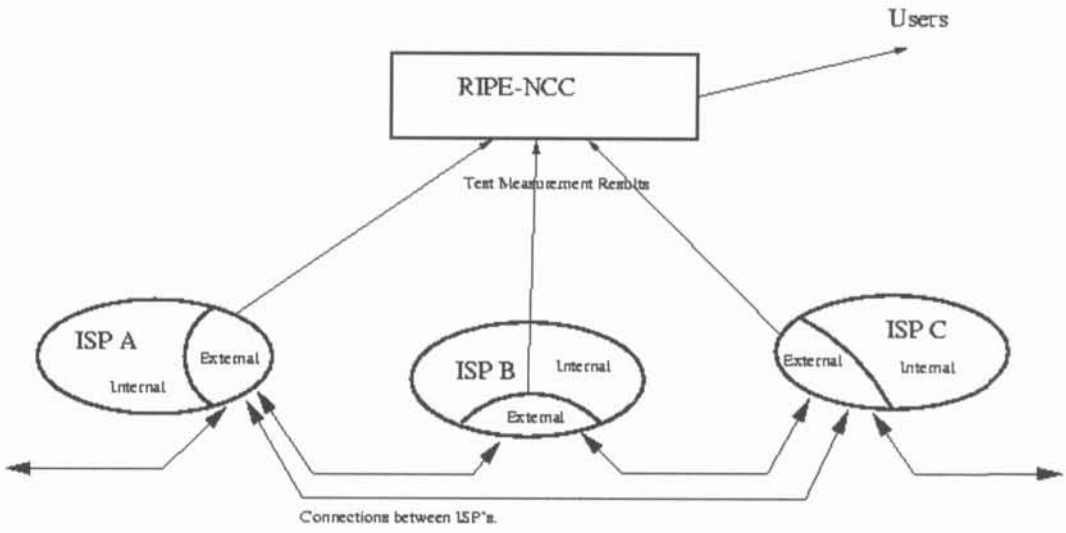

Figura 15 – RIPE visão global (UIJTERWALL, 1997)

Para medir estes parâmetros colocam um computador em cada ISP, para obtenção dos dados. Os dados obtidos são então transferidos para uma máquina central, onde são processados e colocados à disposição dos utilizadores da rede.

O princípio utilizado para a obtenção das medidas é apresentado na Figura 16.

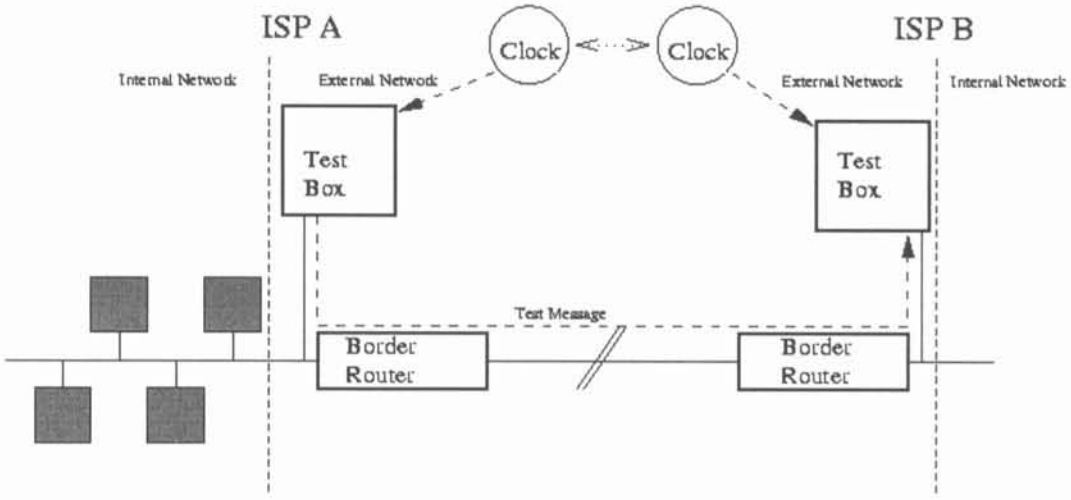

Figura 16 – RIPE diagrama de funcionamento (UIJTERWALL, 1997)

O computador de testes é colocado o mais próximo possível do encaminhador de saída do ISP, por forma a excluírem-se os efeitos da rede interna nas medidas efectuadas.

Para realizar os testes, e tal como mostra a Figura 16, o computador colocado no ISP A envia uma mensagem de teste pré-definida para o ISP B, que a recebe. Para se efectuar o cálculo do tempo de atraso, utiliza-se o valor registado no relógio do computador origem quando a mensagem é enviada, e o valor registado no relógio do computador destino quando a mensagem é recebida.

Para a determinação dos valores desta métrica utiliza-se, portanto, o sistema **um sentido**. Para que os cálculos possam ser efectuados com a maior precisão possível é necessário que os relógios destes computadores estejam sincronizados. Para tal utiliza-se uma combinação da tecnologia GPS *(Global Position System)* e do protocolo NTP *(Network Time Ptotocol)*.

Este projecto prevê também utilizar sistemas de medida **dois sentidos**, sendo utilizados como medidas de verificação, bem como a utilização da ferramenta `traceroute`, para determinar o caminho percorrido pelo tráfego de teste em qualquer momento e os vectores de encaminhamento.

5.3. NIMI Project

O projecto NIMI *(National Internet Measurement Infrastructure)* está a ser desenvolvido nos Estados Unidos e tem como objectivo facilitar o desenvolvimento de uma infra-estrutura de medida para a Internet (ADAMS, 1999).

O desenvolvimento desta infra-estrutura é similar à estrutura utilizada para o desenvolvimento de serviços tais como o *Domain Name System* (DNS), *Networt Time Protocol* (NTP) e USENET news. O sucesso de cada uma destas aplicações reside no facto de utilizarem uma estrutura hierárquica, de forma distribuída, permitindo o seu crescimento sem a necessidade de grande administração central. Similarmente, este projecto foca o desenvolvimento de

técnicas que permitam efectuar medidas da performance da Internet, que sejam escaláveis ao tamanho da própria Internet.

Um dos principais objectivos para esta infra-estrutura é possibilitar a medida de "sinais vitais" da rede, tais como débito, tempo de atraso e perda de pacotes, procurando identificar e diagnosticar antecipadamente falhas através de uma série de processos de medida, assim como identificar possíveis degradações de partes da Internet.

Neste projecto, para quantificar a performance da rede estão a ser utilizadas métricas definidas pelo *IPPM working group.*

Existem pelo menos 37 computadores onde está instalado um programa denominado *Network Probe Daemon*, na Figura 17 identificado como *nimid*, que estão a testar mais de 1000 caminhos distintos na Internet.

Na Figura 17 ilustra-se a forma de funcionamento deste sistema.

Complementarmente ao *nimid,* existem mais duas entidades, o *Configuration Point of Contact* (CPOC), que permite configurar uma colecção de *nimid's* aos quais responde, e o *Measurement Point of Contact* (MPOC), que permite que determinado conjunto de testes sejam configurados no respectivo computador.

Quando o *nimid* contacta o CPOC, este informa o *nimid*, caso este seja um *nimid* autorizado, de quais são os MPOC's que tem registados, enviando-lhe uma lista com a chave de acesso e o tipo de testes que podem ser solicitados.

Na posse desta lista, o *nimid* contacta o MPOC para que este envie os testes. Estes testes são realizados utilizando o sistema **um sentido** e as ferramentas utilizadas são o `TReno`, `poip` e o `traceroute`.

Posteriormente, os detentores da chave correcta poderão solicitar ao *nimid* os dados gerados a partir dos resultados dos testes efectuados.

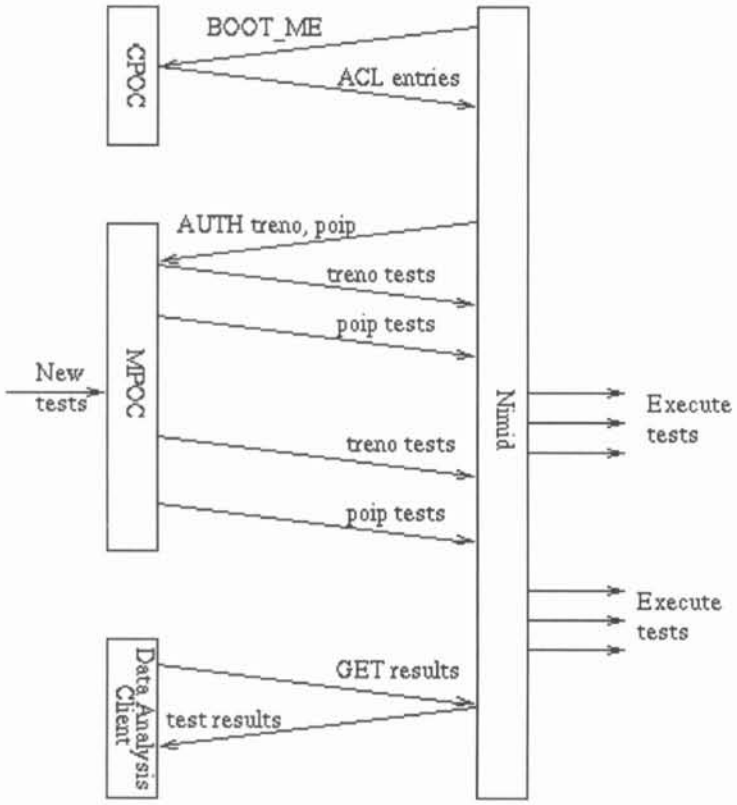

Figura 17 – NIMI diagrama de funcionamento (ADAMS, 1999)

Para garantir que um MPOC possa actuar como ponto de teste, o seu administrador tem que informar o administrador do CPOC, solicitando a sua inscrição na lista de computadores de teste.

5.4. Monitorização na EMBnet

Jan H. Noordik, J. A. M. Leunissen e K. Cuelenaere (NOORDIK, 1999), desenvolveram um sistema de monitorização para a rede EMBnet.

Esta rede, *European Molecular Biology Network* (EMBnet), foi estabelecida em 1988 para permitir a ligação de laboratórios europeus onde a bio-computação e a bio-informática fossem utilizadas na investigação da biologia molecular, uma vez que estes laboratórios necessitavam hardware e

software específicos, e que não podiam ser duplicados facilmente em vários pontos de um país ou grupos de países, devido aos custos. Desta forma, com a criação desta rede, este hardware e software poderiam ser utilizados de uma forma mais eficiente por um maior número de utilizadores.

A função dos nós[3] desta rede é manter bases de dados de sequências de DNA, que são actualizadas diariamente, assim como outros serviços, que envolvem o transporte de centenas de Megabits de dados entre os vários nós e entre os nós e os utilizadores. Alguns dos serviços requerem respostas em curtos espaços de tempo e o sucesso desta rede dependia da rapidez e da fiabilidade das ligações associadas a uma capacidade de débito elevado.

Devido ao rápido desenvolvimento da rede e à crescente quantidade tráfego na mesma, decidiram implementar um programa que permitisse dar informações relativas à performance da mesma. Era suposto que, como resultado, este programa apresentasse figuras objectivas e fiáveis acerca da acessibilidade de cada nó da rede. Em complemento, esta informação seria alvo de estudo por parte das entidades respectivas no que dizia respeito a possíveis melhorias a fazer na rede, por forma a fazer desaparecer possíveis estrangulamentos existentes.

Este projecto tem vindo a recolher dados desde 1995, utilizando para tal duas ferramentas de teste de rede, o `ping` e o `traceroute`.

Por forma a minimizar os efeitos do tráfego gerado por estes testes na rede, utilizaram o `ping` com pacotes de 64 bytes. Os testes eram realizados a partir de diferentes locais e numa base diária. Às 01:00, 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 horas eram enviados a partir de um nó vários `ping's` consecutivos para os restantes nós da rede.

Os resultados obtidos, tempos de atraso de ida e volta (RTT's) e pacotes perdidos, eram recolhidos para posterior análise. Os RTT's eram utilizados para calcular o valor mínimo, médio e máximo diário, utilizando estes valores

[3] Entende-se por nó, o computador que está ligado à rede, o qual é acedido por vários utilizadores. Normalmente este computador é um servidor.

como um indicador da qualidade da acessibilidade da rede para os vários nós da rede. A variação da qualidade da acessibilidade da rede (segundo Jan H. Noordik, J. A. M. Leunissen e K. Cuelenaere) mostrava a melhoria ou a degradação da performance da rede em função do tempo. Os dados obtidos da perda de pacotes eram utilizados como um indicador da acessibilidade de cada nó. O valor de 100% de pacotes perdidos indicava que, no respectivo período de tempo, o nó não se encontrava acessível.

Um exemplo dos dados obtidos pode ser visto na Figura 18, que mostra a variação dos RTT's ao longo do dia entre o nó origem, na Holanda, e o nó destino, na Alemanha (NOORDIK, 1999).

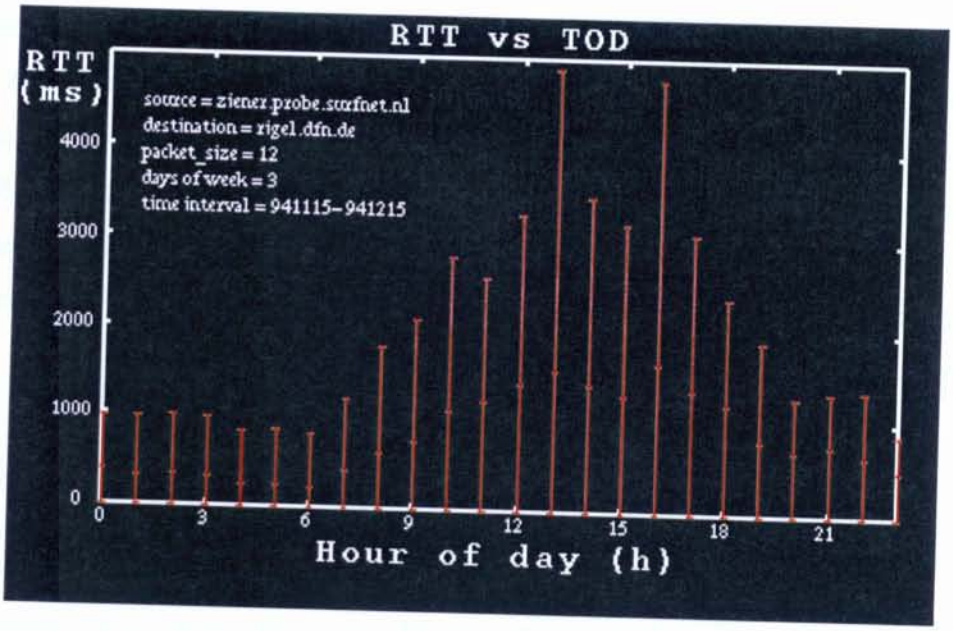

Figura 18 – EMBnet gráfico do RTT entre Holanda e Alemanha

Assim, através da recolha destes dados durante largos períodos de tempo, foi possível determinar a melhoria ou deterioração de determinados nós.

Consideraram os autores que, para se ter um nível mínimo de qualidade de serviço (QoS) para trabalho interactivo em linha, o RTT não deveria ultrapassar os 125 ms e não deveria ocorrer perda de pacotes. Foi possível

verificar que 63% dos nós monitorizados tinham RTT's acima dos 125 ms. Grécia, Polónia, Portugal e Israel apresentavam tempos superiores a 500 ms e, na Europa, apenas alguns países Nórdicos, Reino Unido, Holanda e Hungria apresentavam valores ligeiramente abaixo dos 125 ms. Também foi possível verificar, através das estatísticas dos pacotes perdidos, que apenas alguns nós estiveram inacessíveis durante grandes períodos de tempo.

5.5. Particle Phisics Network Co-ordinating Group

O PPNCG *(Particle Phisics Network Co-ordinating Group)* também desenvolveu um sistema de monitorização da rede (PARTICLE PHISICS, 1999), utilizando o `ping` como ferramenta principal.

O PPNCG tem este processo a correr em várias máquinas espalhadas pela Europa. A razão do desenvolvimento deste sistema deve-se à necessidade de obter informação acerca da performance ponto a ponto de determinados caminhos, importantes para os investigadores da física das partículas. Os dados recolhidos são utilizados para identificar problemas e ajudar o PPNCG a elaborar recomendações para as entidades apropriadas, por forma a optimizar a rede disponível para a comunidade da física das partículas no Reino Unido.

5.6. People Network

A *People Network* desenvolveu um sistema integrado de monitorização de redes (PEOPLE NETWORK, 1999) que consiste na recolha de dados da performance da rede e elaboração de relatórios, com base nos dados recolhidos. Para obter os dados é utilizado o *Simple Network Management Protocol* (SNMP) e outras ferramentas padrão.

Para medir o tempo de atraso entre o computador onde está instalado o software (origem) e um outro algures ligado à rede (destino), é utilizado o RTT fornecido pelo `ping`, considerando que mudanças no tempo de atraso ao

longo do tempo são um excelente indicador da qualidade de serviço oferecido pela rede.

5.7. Dymanic Server Selection in the Internet

Mark E. Crovella and Robert L. Carter elaboraram um documento intitulado *"Dymanic Server Selection in the Internet"* (CROVELLA , 1995) onde analisavam os problemas provocados pelo desenvolvimento da World Wide Web devido à sua crescente popularidade na Internet. Segundo os autores, este sistema de informação distribuída implicava o desperdício de largura de banda na transferência de informação redundante e um excessivo tempo de atraso na entrega de documentos aos clientes, quando se utilizavam caminhos mais lentos. Segundo estes autores, uma possível solução, que é hoje uma realidade, era um sistema de replicação dos documentos por vários servidores. Contudo, quando um serviço é replicado, os clientes precisam de ter a possibilidade de escolher o que melhor serviço oferece.

Neste documento focam o problema da selecção dinâmica de servidores de documentos, considerando no seu estudo o uso de duas métricas importantes para medirem a distância na Internet: o número de nós e os tempos de atraso. Após a análise, verificaram, surpreendentemente, que os resultados produzidos por estas duas métricas eram diferentes, ou seja, o aumento ou diminuição do número de nós existentes num caminho não tem uma correlação directa com o tempo de atraso existente nesse mesmo caminho.

Para realizarem este estudo e para medir os tempos de atraso estes utilizaram o `ping`.

5.8. PingER

No *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC), Les Cottrell, Warren Mattews e Connie Logg também desenvolveram um sistema de monitorização da rede denominado PingER (INTERNET END-TO-END, 1999).

O motivo do desenvolvimento deste projecto foi o de fornecer uma perspectiva acerca da performance da rede que ligava o SLAC com outros sítios com os quais colaborava. Neste momento estão a testar cerca de 120 computadores espalhados pelo mundo.

A principal ferramenta utilizada para efectuar estes testes é o `ping`. Segundo estes autores, a justificação da sua utilização deve-se ao facto do `ping` já vir instalado na maioria das plataformas, não sendo, assim, necessário instalar nenhuma aplicação nos clientes, além do que, geralmente, este é um programa que é executado com alta prioridade, o que implica que pode fornecer melhores medidas acerca da performance da rede do que uma aplicação desenvolvida por um utilizador (COTTRELL, 1999b).

Tal como nos sistemas de monitorização referidos anteriormente, neste sistema são utilizadas as seguintes métricas:

- Pacotes perdidos, utilizados para classificar a qualidade da ligação,
- Tempo de atraso, obtido a partir do RTT, uma vez que o RTT está relacionado com a distância entre os computadores (origem e destino), mais o atraso introduzido por cada nó ao longo do trajecto do pacote entre os computadores,
- Acessibilidade, que permite verificar quanto tempo determinado computador esteve indisponível.

A arquitectura deste sistema é apresentada na Figura 19. Os computadores dividem-se em quatro classes, identificados como:

- *Remote* – computadores que estão a ser monitorizados,
- *Monitoring* – computadores que realizam a monitorização de computadores identificados como *Remote*, recolhem os dados e, em algumas situações, utilizam os dados mais recentes para elaborar relatórios,
- *Archive* - computador que guarda os dados enviados pelos *Monitoring*,
- *Analysis* - computador que corre programas de análise dos dados e elabora relatórios com base nessa análise, tornando-os acessíveis via WEB. Estes computadores podem ser ao mesmo tempo computadores tipo *Analysis* e *Archive*.

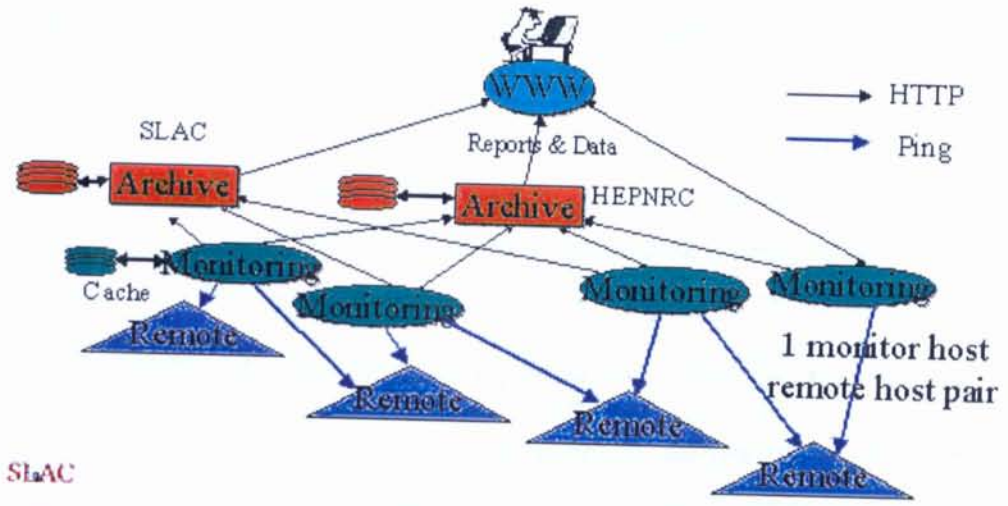

Figura 19 – SLAC, arquitectura do sistema (COTTRELL, 1999b)

O processo de obtenção dos dados consiste em enviar de 30 em 30 minutos um conjunto de `ping's`, a partir de cada computador *Monitoring* para cada um dos computadores identificados como *Remote*. Cada computador identificado como *Monitoring* possui uma lista de computadores *Remote* para testar.

Os dados obtidos são recolhidos para posterior tratamento. Com base nestes dados é calculado o RTT e a perda de pacotes. É também determinada a acessibilidade de cada computador, assim como a previsibilidade e imprevisibilidade do `ping`.

Estas ferramentas de medida utilizadas estão instaladas em 15 computadores divididos por oito países e cerca de 480 caminhos estão a ser monitorizados em 22 países.

As ferramentas e a metodologia utilizadas neste projecto foram adoptadas pelo *Cross Industry Working Team* (XIWT)/*Internet Performance Working Team* (IPWT) e em Maio de 1998 pelo menos dez sítios comerciais também as estavam a utilizar (COTTRELL, 1998).

5.9. Resumo

Como se pode verificar, neste conjunto de descrições, vários são os sistemas existentes, assim como as metodologias de medida empregues. Para facilitar a análise, na Tabela 3 apresentam-se as características mais relevantes de cada um dos sistemas de medida descritos.

Tabela 3 – Resumo dos sistemas existentes

Projecto	Sistema um sentido	Sistema dois sentidos	Métricas	Ferramentas
RIPE NCC	X	X	- Conectividade - Débito - Tempo de atraso - Perda de pacotes	- Próprias - `traceroute`
NIMI	X		- Conectividade - Débito - Tempo de atraso - Perda de pacotes	- Treno - Poip - `traceroute`
EMBnet		X	- Conectividade - Tempo de atraso (RTT) - Perda de pacotes	- `ping` - `traceroute`
PPNCG		X	- Tempo de atraso (RTT) - Perda de pacotes - Débito	- `ping` - `traceroute` - FTP
People Network		X	- Tempo de atraso (RTT)	- `ping`
Dynamic Server Selection		X	- Tempo de atraso (RTT) - Número de hops (saltos)	- `ping` - `traceroute`
PingER – SLAC		X	- Conectividade - Tempo de atraso (RTT) - Perda de pacotes - Débito - Previsibilidade - Imprevisibilidade	- `ping` - `traceroute` - FTP

Como anteriormente já tinha sido mencionado, verifica-se que sistemas de avaliação e monitorização que utilizam como metodologia de medida o sistema **um sentido** são relativamente mais complicados de implementar, obrigando a alguma intervenção no computador destino, e a atender a aspectos importantes como o da sincronização dos relógios. Pelo contrário, a

implementação de sistemas que utilizem para metodologia de medida o sistema **dois sentidos** é relativamente mais fácil, pois não necessita de intervenção no computador destino, como também anteriormente se mencionou. No entanto, deve-se ter em conta o tipo de análise que se pretende realizar, uma vez que depende desta o tipo de metodologia a empregar.

Relativamente às ferramentas, verifica-se que o programa `ping` é o mais usado quando se pretende obter métricas utilizando como metodologia de medida o sistema dois sentidos e quando as métricas a medir são a conectividade, tempos de atraso e pacotes perdidos, entre outras.

Capítulo 6: Implementação de um sistema de Avaliação e Monitorização

6.1. Introdução

Como objectivo deste trabalho, propunha-se o desenvolvimento de um sistema de avaliação e monitorização para a Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN), da responsabilidade da Fundação para a Computação Científica Nacional (FCCN). Visava-se disponibilizar para a comunidade científica e académica nacional um meio que lhe possibilitasse verificar a qualidade da rede de que dispunham.

Neste capítulo é apresentado o sistema desenvolvido para a avaliação da RCCN, descrevendo-se as métricas utilizadas, metodologias de medida aplicadas e respectiva forma de funcionamento.

6.2. Métricas e metodologias utilizadas

Como foi referido anteriormente, o IPPM definiu métricas para caracterizar redes. Conectividade, tempo de atraso e perda de pacotes são exemplos.

No desenvolvimento deste sistema de avaliação, consideram-se como métricas de caracterização o tempo de atraso e a perda de pacotes.

A escolha destas métricas é apoiada pela descrição apresentada no capítulo anterior, onde se verifica que existe uma unanimidade em considerar que os factores que mais influenciam a performance de uma rede são os tempos de atraso e os pacotes perdidos.

A perda de pacotes permite verificar se vão existir muitas ou poucas retransmissões. O tempo de atraso é importante para os utilizadores, uma vez que assim, estes poderão verificar em avanço qual o tempo que poderá demorar quando tentarem aceder a determinada instituição.

Como anteriormente se descreveu, existem duas vertentes no que diz respeito à obtenção dos valores das métricas, o sistema **um sentido** e o sistema **dois sentidos**.

Pelas razões já apresentadas, optou-se pela obtenção das métricas através do sistema **dois sentidos**, uma vez que neste caso não é necessário fazer qualquer instalação ou configuração nos computadores destino, e evita-se assim que o trabalho dependa de terceiros. O processo utilizado para a obtenção das métricas foi através da injecção de tráfego na rede.

6.3. Ferramentas utilizadas

Guy Almes, Sunil Kalidindi e Mathew J. Zekauskas (ALMES, 1999c) classificam o `ping` como sendo uma ferramenta que fornece métricas (tempo de atraso), obedecendo ao sistema **dois sentidos**. Uma vez que as métricas a utilizar são o tempo de atraso e a perda de pacotes, utilizou-se o `ping` como

ferramenta para a obtenção do valor das mesmas. Associado a este programa, desenvolveram-se outros programas que permitem guardar, fazer o tratamento e a apresentação dos dados.

Para que os dados possam ser acedidos de uma forma rápida e simples, decidiu-se que a sua visualização seria feita através da WEB, uma vez que desta forma, basta ter um computador ligado à Internet e um *browser* para aceder aos dados. O computador encarregue de fazer a análise dos dados deve então ter instalado um servidor WWW.

6.4. Validação do uso do `ping`

A utilização do programa `ping` requer alguns cuidados. Com efeito, alguns erros que podem estar associados às medidas apresentadas por programas deste tipo são:

- Erros e incertezas provocados pelo relógio do computador origem,
- Erros e incertezas provocados pelo computador destino, devido ao tempo que necessita para receber o pacote e o voltar a enviar de volta para o destino,
- O RTT medido no meio de transmissão *(wire time)* é diferente do RTT apresentado pelo `ping`, devendo-se este facto a erros e incertezas provocados pelo tempo que o computador origem, despende no envio e recepção do pacote,
- Alguns computadores ou não respondem aos `ping's` ou respondem mas limitam o tamanho dos pacotes admitidos, procurando desta forma protegerem-se de possíveis ataques (ex. "ping o' death" (KENNEY, 1999)), sendo estas limitações feitas nos encaminhadores. Por tal facto, a inexistência de resposta por parte de um computador ao `ping`, não quer dizer que este esteja

inacessível. Tal só se poderá considerar verdadeiro se normalmente esse computador responder ao `ping`,

- Se um computador não responder ao `ping` não quer dizer que este esteja inacessível, uma vez que, pode existir uma quebra na ligação entre os computadores (origem e destino).

Como se pode verificar pela Tabela 3, o `ping` é uma das ferramentas mais utilizadas para obtenção dos valores de algumas métricas.

Este programa como já foi descrito, utiliza o protocolo ICMP que é do nível de rede, ou seja, está ao mesmo nível do protocolo IP. Contudo, quase todas as aplicações que hoje se utilizam na Internet são aplicações que utilizam protocolos ao nível da aplicação, como o FTP, HTTP, TELNET, etc., que utilizam na grande maioria o protocolo TCP ao nível do transporte.

Coloca-se então a seguinte questão:

Se se implementa um sistema de monitorização e avaliação da rede baseado nas métricas fornecidas pelo `ping`, nomeadamente RTT's e perda de pacotes, de que forma estes valores se podem relacionar com os valores que se podem esperar de aplicações que utilizam protocolos diferentes e que implementam uma pilha protocolar maior? Ou seja, se se sabe que o RTT obtido pelo `ping` entre um servidor WWW e um cliente é um determinado valor, qual será o atraso que se poderá esperar quando o cliente tenta carregar uma página HTML do referido servidor?

O `ping` envia uma mensagem ICMP ECHO para o destino e espera que o destino a devolva, operação que implica a existência de um RTT. Se atendermos a que o HTTP utiliza o TCP, ao nível do transporte, pode-se concluir, de grosso modo, que para o envio de uma página HTML, é necessário pelo menos duas vezes mais tempo do que o necessário para enviar um ICMP ECHO. Com efeito, uma transacção a nível de TCP envolve pelo menos dois RTT's, um para estabelecimento da ligação e outro para troca de informação. Está a considerar-se que a página HTML não excede a unidade máxima de

transferência da rede (MTU) e que o datagrama originado pelo ICMP tem o mesmo tamanho que o datagrama originado pela página HTML.

Outra forma de validar os dados obtidos através do `ping` é demonstrar que as medidas efectuadas com este programa estão correlacionadas com os tempos de resposta de outras aplicações.

Em resposta a esta questão, Les Cottrell e John Halperin desenvolveram um estudo intitulado "Efeitos da performance da Internet nos tempos de resposta da WEB" (COTTRELL, 1999a).

Estes autores procuraram verificar como é que o tempo de resposta de um servidor WEB a um pedido de uma página HTML, por outras palavras um HTTP GET, poderia estar relacionado com o tempo de resposta do mesmo servidor a um pedido ICMP, utilizando o `ping`.

Por forma a realizar estes testes, Les Cottrell e John Halperin elaboraram uma lista de URL's *(Uniform Resorce Locators)* a partir da cache de um servidor.

Realizaram uma filtragem à lista disponível e apenas foram admitidos URL's constituídos por caracteres alfanuméricos seguidos de ponto (.), hifen (-) underscore (_) til (~), slash (/), backslash (\), dois pontos (:) e percentagem (%).

Através desta selecção procuraram evitar que fossem incluídas respostas por parte de CGI's (uma vez que estes poderiam invocar bases de dados e condicionar os tempos de resposta), bem como muitas respostas do mesmo servidor, por forma a não viciar os resultados por razões obvias.

Os URL's testados englobavam vários domínios, como por exemplo .com (~60%), .edu , .org, .net e domínios de 13 países, entre outros.

Os dados foram recolhidos entre 26 de Janeiro e 1 de Fevereiro de 1997, processando-se da seguinte forma:

Para cada URL utilizavam um programa que fazia um HTTP GET. Se o programa reportava sucesso, realizavam-se mais nove HTTP GET's, num total de dez. Eram então guardados valores como: tempo de resposta, tamanho do

pacote, nome da máquina, porta, tipo de servidor e tempo (médio) de transferência. Em seguida, uma vez que o HTTP GET tinha ocorrido com sucesso, enviavam-se 10 `ping's` para o mesmo endereço, com pacotes do mesmo tamanho dos obtidos na resposta ao HTTP GET.

Após o cálculo do coeficiente de correlação entre os valores do tempo de resposta (atraso), sendo R o coeficiente de correlação entre os valores obtidos e atendendo às indicações de Anderson e Finn (ANDERSON, 1996), que indicam que:

- $0<|R|<0,3$ a correlação é fraca
- $0,3<|R|<0,6$ a correlação é moderada
- $0,6<|R|<1$ a correlação é forte

Les Cottrell e John Halperin obtiveram os resultados da Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação HTTP GET versus `ping` (pacotes iguais)

Coeficiente de correlação R	Valor Mínimo (HTTP GET)	Valor Médio (HTTP GET)	Valor Máximo (HTTP GET)	Valor Mediana (HTTP GET)
Valor Mínimo (`ping`)	0.609	0.579	0.36	0.61
Valor Médio (`ping`)	0.583	0.558	0.35	0.587
Valor Máximo (`ping`)	0.538	0.521	0.331	0.546

Através da análise da Tabela 4 conclui-se que se pode considerar existir uma correlação entre forte e moderada entre o valor mínimo do tempo de resposta do `ping` e os valores mínimo, médio e mediana dos tempos de resposta do HTTP GET.

A partir da Figura 20 facilmente se percebe que existe uma relação aproximadamente de $y = 2x$, em que y = tempo de resposta de um HTTP GET e x = tempo mínimo de resposta de um `ping`. Este resultado, de certa forma

não surpreende, pois quando se faz um HTTP GET, este utiliza o protocolo TCP e uma transacção a nível de TCP envolve pelo menos dois RTT's, um para estabelecimento da ligação e outro para troca de informação, conforme já foi referido.

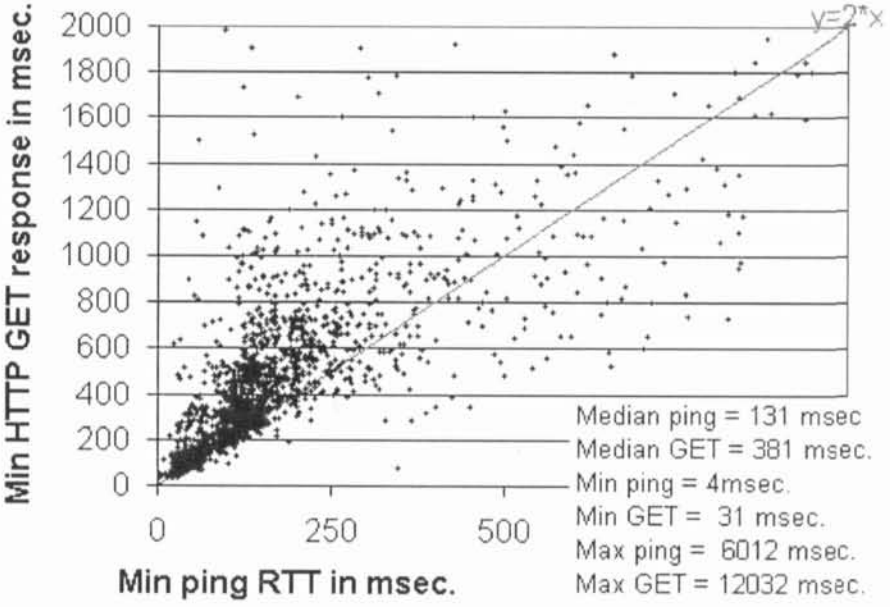

Figura 20 – `ping` versus GET (COTTRELL, 1999a)

Não obstante estes resultados, também foram feitos testes em que o tamanho do pacote enviado pelo `ping` se fixou em 1000 bytes. Após a recolha dos resultados obtiveram os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação GET versus `ping` (pacotes de 1000 bytes)

Coeficiente de correlação R	Valor Mínimo (HTTP GET)	Valor Médio (HTTP GET)	Valor Mediana (HTTP GET)
Valor Mínimo (`ping`)	0.43	0.46	0.45
Valor Médio (`ping`)	0.38	0.42	0.41

Em resumo, este estudo permite concluir que existe uma correlação moderada e forte entre os tempos de resposta do `ping` e do HTTP GET. Como o `ping` mede o tempo de atraso de níveis de rede mais baixos, uma vez que o `ping` utiliza o ICMP sobre IP e o HTTP utiliza o TCP sobre o IP, pode-se concluir que o tempo de resposta dos servidores WWW na Internet é moderadamente ou até mesmo fortemente dependente da performance da rede.

Outra forma de vermos isto é que, se soubermos antecipadamente o valor mínimo ou médio do tempo de resposta do `ping` para servidores WWW, o tempo de resposta a um HTTP GET para o mesmo servidor é moderadamente previsível.

6.5. Arquitectura do sistema

Depois de escolhidas as métricas, a metodologia e as ferramentas a utilizar, definiu-se a arquitectura do sistema. Esta é apresentada na Figura 21.

Os computadores dividem-se em três classes:

- *Alvo* - computadores que estão a ser monitorizados,
- *Base* - computador que realiza a monitorização de computadores identificados como *Alvo*, recolhendo os dados,

- *Análise* - computador que corre programas de análise dos dados e elabora relatórios com base nessa análise, os quais são acessíveis via WWW. Este computador pode ser ao mesmo tempo tipo *Base* e *Análise*.

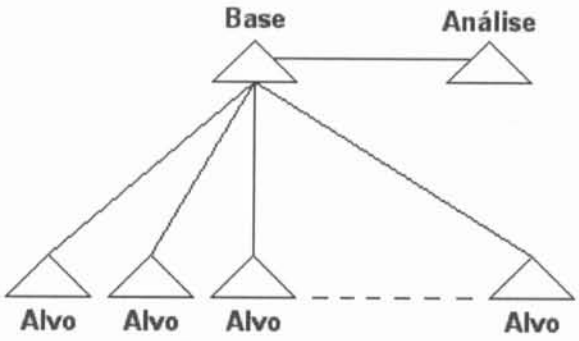

Figura 21 – Esquema do sistema de monitorização

Como base para instalar o sistema de monitorização e avaliação da rede RCCN, utilizou-se um computador com um processador Pentium II a 266 MHz, 2Gb de disco duro e 64 Mb de memória RAM. Como sistema operativo utilizou-se o Linux Slackware.

6.6. Forma de funcionamento

O processo de obtenção dos dados é o seguinte: o computador *Base*, instalado na FEUP, possui uma lista de *Alvos* para testar. Para cada um desses *Alvos* é enviado de 15 em 15 minutos um conjunto de 11 `ping´s` com pacotes de 100 bytes cada. Capa `ping` é enviado com um intervalo de tempo de 1 segundo e por omissão o *timeout* de 20 segundos é utilizado.

Os dados do primeiro `ping` não são utilizados pelas razões apresentadas por Martin Horneffer (HORNEFFER, 1999), que reportou que, em testes realizados com pacotes UDP-echo, a resposta ao primeiro pacote demorava cerca de 20% mais relativamente aos outros. Este comportamento pode dever-se ao facto de não se saber o endereço ARP do computador

destino, ou porque quando o computador destino responde ao primeiro ICMP ECHO, este tem de lançar o processo para enviar a resposta, mantendo-se este processo o tempo suficiente para responder sem problemas ao segundo ICMP ECHO.

Os dados obtidos são recolhidos para posterior tratamento. No final deste teste, é enviado um novo teste, 10 `ping´s`, mas desta vez utilizam-se pacotes de 1000 bytes, registando também estes dados.

A razão da utilização de pacotes de 100 e 1000 bytes prende-se com o facto de, no estudo realizado por Les Cottrell e John Halperin (COTTRELL, 1999a), estes concluírem que existe uma correlação entre moderada a forte entre os resultados de um HTTP GET e um ICMP ECHO quando se utilizam pacotes de tamanhos iguais, e uma correlação moderada quando se utilizam HTTP GET de tamanhos variáveis e ICMP ECHO de tamanhos iguais a 1000 bytes.

Desta forma, uma vez que a maioria das redes utilizadas são do tipo Ethernet, que suporta como tamanho máximo da trama 1500 bytes (MTU), evita-se assim a fragmentação do datagrama.

A utilização dos 100 bytes prende-se com o facto de verificar se existe alguma relação entre os valores obtidos com pacotes de 100 e 1000 bytes, uma vez que utilizando pacotes de 100 bytes introduz-se menos tráfego na rede, beneficiando os utilizadores.

Com base nos dados obtidos, RTT e perda de pacotes, classificam-se as ligações, entre o computador *Base* e os respectivos *Alvo*.

6.7. Selecção dos computadores a testar

Uma vez que o sistema de avaliação foi implementado para avaliar o comportamento da Rede da Comunidade Científica Nacional (RCCN), sendo o serviço WWW um dos serviços mais utilizados nesta rede, seleccionaram-se os servidores WWW das principais instituições que estão ligadas a esta rede.

Pretende-se desta forma verificar quais as performances dos servidores WWW de cada uma destas instituições, no que diz respeito a tempos de resposta (RTT) e pacotes perdidos.

Os servidores WWW seleccionados foram os da Tabela 6.

Tabela 6 – Servidores testados

Instituição	Servidor a ser testado
Fundação para a Computação Científica Nacional	www.fccn.pt
Universidade Algarve	www.ualg.pt
Faculdade Ciências Universidade Lisboa	www.fc.ul.pt
Universidade Aveiro	www.ua.pt
Universidade Minho	www.uminho.pt
Universidade Coimbra	www.uc.pt
Univ. Nova Lisboa Fac. Ciências e Tecnologia	www.fct.unl.pt
Universidade Beira Interior	www.ubi.pt
Universidade Évora	www.uevora.pt
Instituto Superior Técnico	www.ist.utl.pt
Universidade dos Açores	www.uac.pt
Universidade da Madeira	www.uma.pt
Instituto Politécnico Bragança	www.ipb.pt
Instituto Politécnico Viana do Castelo	www.ipvc.pt
Instituto Politécnico Castelo Branco	www.ipcb.pt
Instituto Politécnico Viseu	www.ipv.pt
Instituto Politécnico Guarda	www.ipg.pt
Instituto Politécnico Tomar	www.ipt.pt
Instituto Politécnico Leiria	www.iplei.pt
Instituto Politécnico Santarém	www.ipsantarem.pt
Instituto Politécnico Setúbal	www.est.ips.pt

Por forma a verificar qual o comportamento dos encaminhadores que se encontram à entrada de algumas instituições, assim como determinar a sua relação com os valores obtidos dos respectivos servidores WWW, seleccionaram-se os encaminhadores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Encaminhadores testados

Instituição	Encaminhador a ser testado
Fundação para a Comp. Científica Nacional	ROUTER13.ATM2-0.7.Lisboa.rccn.net
Universidade Algarve	UALG.Faro.rccn.net
Faculdade Ciências Universidade Lisboa	UL.Lisboa.rccn.net
Universidade Aveiro	UA.Aveiro.rccn.net
Universidade Minho	UMinho.Braga.rccn.net
Universidade Coimbra	UC.Coimbra.rccn.net
Univ. Nova Lisboa Fac. Ciências e Tecnologia	UNL.Caparica.rccn.net
Universidade Beira Interior	UBI.Covilha.rccn.net
Universidade Évora	ROUTER22.Serial1-3.Evora.rccn.net
Instituto Superior Técnico	UTL.Lisboa.rccn.net
Universidade dos Açores	UAC.Pdelgada.rccn.net
Universidade da Madeira	UMA.Funchal.rccn.net
Instituto Politécnico Bragança	IPB.Braganca.rccn.net
Instituto Politécnico Guarda	IPG.Guarda.rccn.net
Instituto Politécnico Tomar	IPT.Tomar.rccn.net
Instituto Politécnico Leiria	ROUTER30.SERIAL0.Leiria.rccn.net

Capítulo 7: Apresentação dos resultados

7.1. Introdução

Como fruto deste trabalho, apresentam-se neste capítulo os resultados obtidos durante o período de testes, utilizando estes valores para fazer a classificação da ligação entre a FEUP e as instituições que foram testadas.

Para cada servidor WWW que se testou, no que diz respeito ao RTT, calculou-se a média e o desvio padrão, mensais, diários e horários, do valor mínimo do `ping`. Escolheu-se o valor mínimo do `ping` uma vez que, segundo Les Cottrell e John Halperin (COTTRELL, 1999a), é entre o valor mínimo do tempo de resposta do `ping` e os valores mínimo e médio dos tempos de resposta do HTTP GET que existe uma correlação mais forte, conforme descrito em *"Validação do uso do Ping"*.

No que diz respeito à perda de pacotes também se calculou o valor médio mensal, diário e horário.

7.2. Resultados

Considerando o computador da FCCN, no qual está instalado o servidor de WWW, os resultados mensais obtidos, utilizando pacotes de 100 bytes, apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Val. mensais do servidor da FCCN (100 bytes)

www.fccn.pt - 100 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	85.07	134.3	5.31	26220	24827
Junho	29.13	53.14	2.7	28780	28002
Julho	47.53	71.96	4.15	29160	27947
Agosto	37.03	57.1	7.23	29760	27607

Verifica-se na Tabela 8 que o valor médio do RTT, entre Maio e Agosto de 1999, flutuou entre os 29.13 ms no mês de Junho e os 85.07 ms no mês de Maio, enquanto que a média dos pacotes perdidos flutuou entre os 2.7% no mês de Junho e os 7.23% no mês de Agosto. Verifica-se também que, conforme o valor do RTT aumenta, o desvio padrão também aumenta.

Para os testes realizados com pacotes de 1000 bytes, obtiveram-se os resultados da Tabela 9.

Tabela 9 – Val. mensais do servidor da FCCN (1000 bytes)

www.fccn.pt - 1000 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	124.81	208.76	5.64	24340	22966
Junho	55.56	63.05	2.54	28780	28047
Julho	101.82	87.59	3.7	29720	28618
Agosto	66.63	60.09	5.59	29760	28095

Comparando os valores da Tabela 8 com os da Tabela 9, verifica-se que para testes com pacotes de 100 bytes ou 1000 bytes, os resultados em termos de percentagem de pacotes perdidos é muito semelhante. A Tabela 10 ilustra esse facto.

Tabela 10 – FCCN, comparação pacotes perdidos

www.fccn.pt	100 bytes	1000 bytes
	PP (%)	PP (%)
Mês	Média	Média
Maio	5.31	5.64
Junho	2.7	2.54
Julho	4.15	3.7
Agosto	7.23	5.59

No que diz respeito ao RTT, o mesmo comportamento não se verifica, como mostra Tabela 11. Este comportamento é esperado, visto que os pacotes têm tamanhos diferentes, sendo necessário mais tempo para transmitir pacotes maiores.

Tabela 11 – FCCN, comparação do RTT

www.fccn.pt	100 bytes		1000 bytes	
	RTT (ms)		RTT (ms)	
Mês	Média	Desvio	Média	Desvio
Maio	85.07	134.3	124.81	208.76
Junho	29.13	53.14	55.56	63.05
Julho	47.53	71.96	101.82	87.59
Agosto	37.03	57.1	66.63	60.09

No que diz respeito à perda de pacotes, esta propriedade (relação entre pacotes de 100 e 1000 bytes) manifesta-se também quando se analisam os resultados de outros servidores. Na Tabela 12 e Tabela 13 apresentam-se os resultados relativos ao servidor WWW da Universidade do Algarve.

Tabela 12 – Val. mensais do servidor da Univ. do Algarve (100 bytes)

www.ualg.pt - 100 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	102.56	136.99	3.18	26220	25386
Junho	36.12	52.79	1.32	28780	28400
Julho	54.04	71.01	6.68	29160	27212
Agosto	44.59	60.07	7.54	29760	27514

Tabela 13 – Val. mensais do servidor da Univ. do Algarve (1000 bytes)

www.ualg.pt - 1000 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	169.21	339.25	3.73	24340	23432
Junho	75.2	64.39	1.27	28780	28413
Julho	123.87	92.38	6.32	29720	27841
Agosto	87.15	63.31	5.5	29760	28123

Na Tabela 14 e Tabela 15 apresentam-se os resultados relativos ao servidor WWW da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Tabela 14 – Val. mensais do servidor da FCUL (100 bytes)

www.fc.ul.pt - 100 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	146.77	165.15	5.58	16280	15370
Junho	50.64	65.78	1.09	28780	28465
Julho	81.1	92.13	8.94	29160	26551
Agosto	82.4	89.92	13.4	29760	25770

Tabela 15 – Val. mensais do servidor da FCUL (1000 bytes)

www.fc.ul.pt - 1000 bytes					
	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Mês	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
Maio	208.13	175.88	6.38	16350	15306
Junho	103.43	74.85	1.26	28780	28416
Julho	169.03	114.04	10.49	29720	26600
Agosto	140.03	92.88	10.55	29760	26618

Após a análise dos resultados de outros servidores conclui-se que os resultados obtidos com pacotes de 100 ou 1000 bytes, no que diz respeito à percentagem de perda de pacotes, é bastante semelhante.

Algumas das diferenças verificadas devem-se ao facto de existir um curto intervalo de tempo entre os testes realizados com pacotes de 100 e 1000 bytes para cada servidor.

Esta é uma das formas possíveis de verificar o comportamento errático da Internet. Este comportamento não é de estranhar, uma vez que o IP oferece um serviço "best effort", e como tal, não existe garantia que a percentagem de perda de pacotes se vá manter constante. O mesmo se pode dizer relativamente ao RTT.

Os valores apresentados nas Tabelas anteriores podem ser utilizados como um indicador da qualidade da ligação entre a FEUP e os servidores WWW das instituições mencionadas, (FCCN, Universidade do Algarve e Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

Na interpretação dos valores apresentados deve-se ter em conta que estes são a média mensal e o comportamento diário da rede pode estar mascarado nestes valores. Nas Figuras 22, 23 e 24, é possível verificar o comportamento diário de cada uma das instituições, utilizando pacotes de 100 bytes.

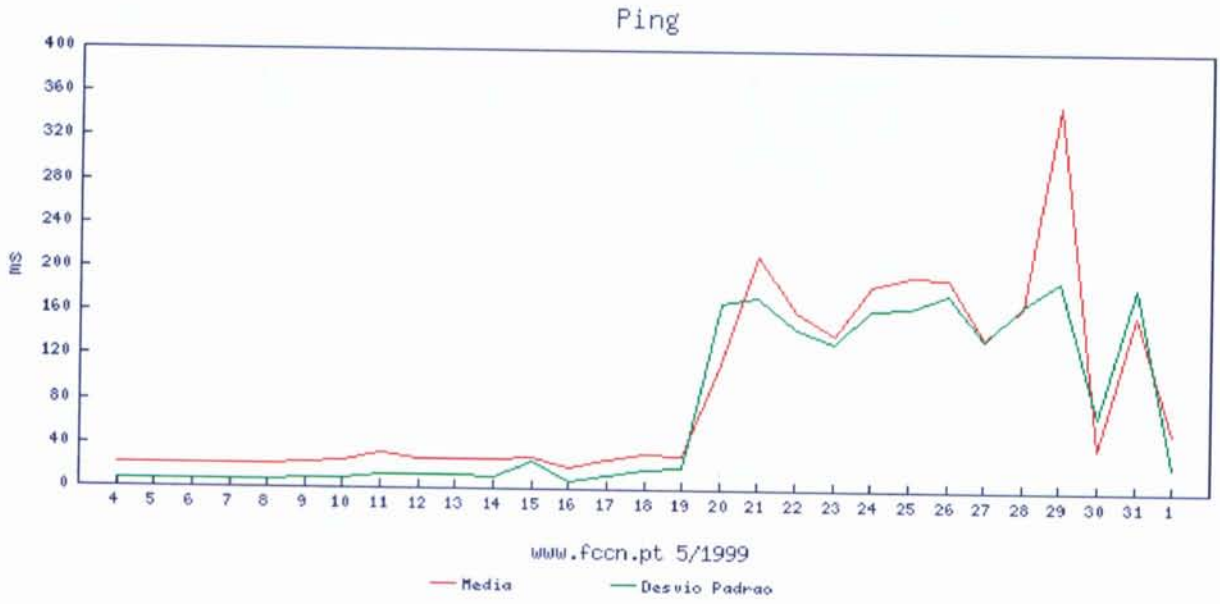

Figura 22 – FCCN, RTT Maio 99 (100 bytes)

Na Figura 22, relativa ao servidor da FCCN, verifica-se que entre o dia 4 e o dia 19 de Maio, o RTT manteve-se abaixo dos 40 ms. Contudo, entre o dia 19 e o dia 31 o valor do RTT subiu para valores entre os 160 e os 240 ms, tendo no dia 29 atingido mesmo o valor de 360 ms.

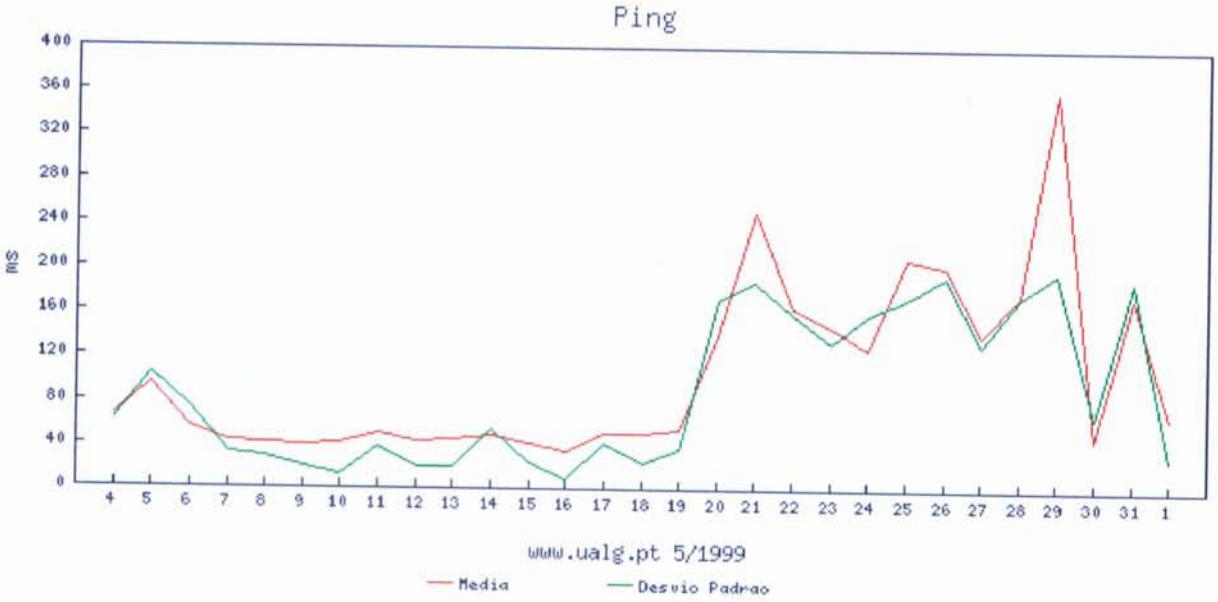

Figura 23 – Univ. Algarve, RTT Maio 99 (100 bytes)

Na Figura 23, relativa ao servidor da Universidade do Algarve, verifica-se o mesmo, pois entre o dia 4 e dia 19 de Maio o valor médio diário do RTT flutuou entre os 40 e os 80 ms, tendo a partir do dia 19 subido para valores entre os 160 e os 240 ms, tendo no dia 29 atingido o valor de 360 ms.

As mesmas observações aplicam-se à analise dos resultados do servidor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Como mostra a Figura 24, entre o dia 14 (dia em que começou a ser testado) e dia 19, o RTT flutuou entre os 40 e os 80 ms. Entre o dia 19 e o dia 31 os valores passaram a flutuar entre os 160 e os 240 ms, verificando-se também que no dia 29 o seu valor chegou a ser superior a 360 ms.

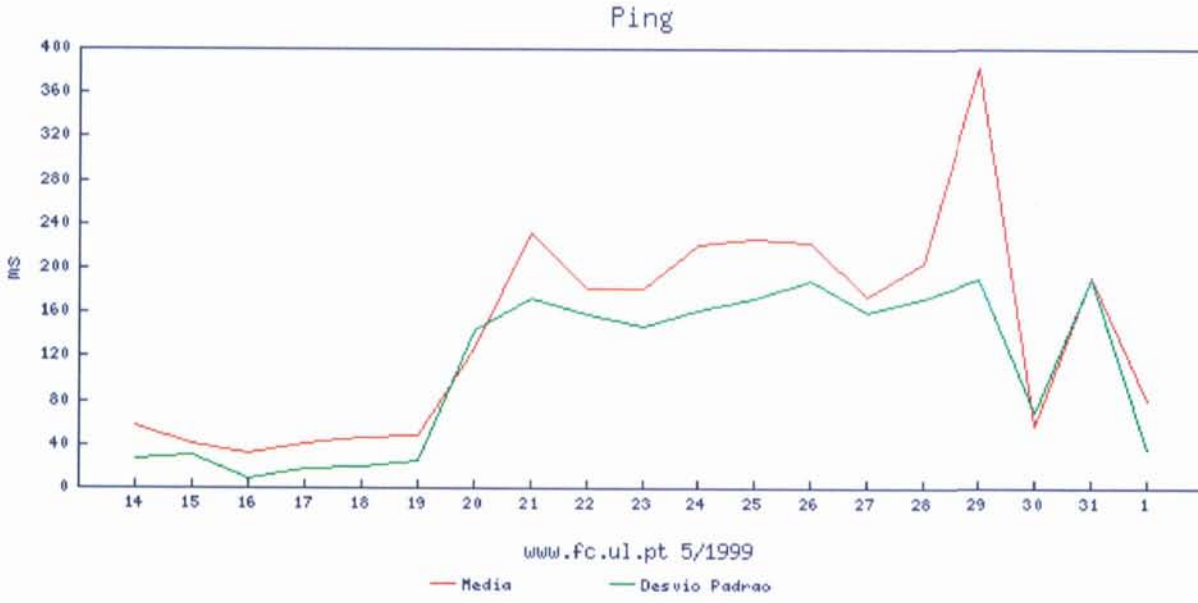

Figura 24 – FCUL, RTT Maio 99 (100 bytes)

No que diz respeito à perda de pacotes, nas Figuras 24, 26 e 27, verifica-se que o aumento do RTT a partir do dia 19 Maio foi acompanhado por um aumento da perda de pacotes.

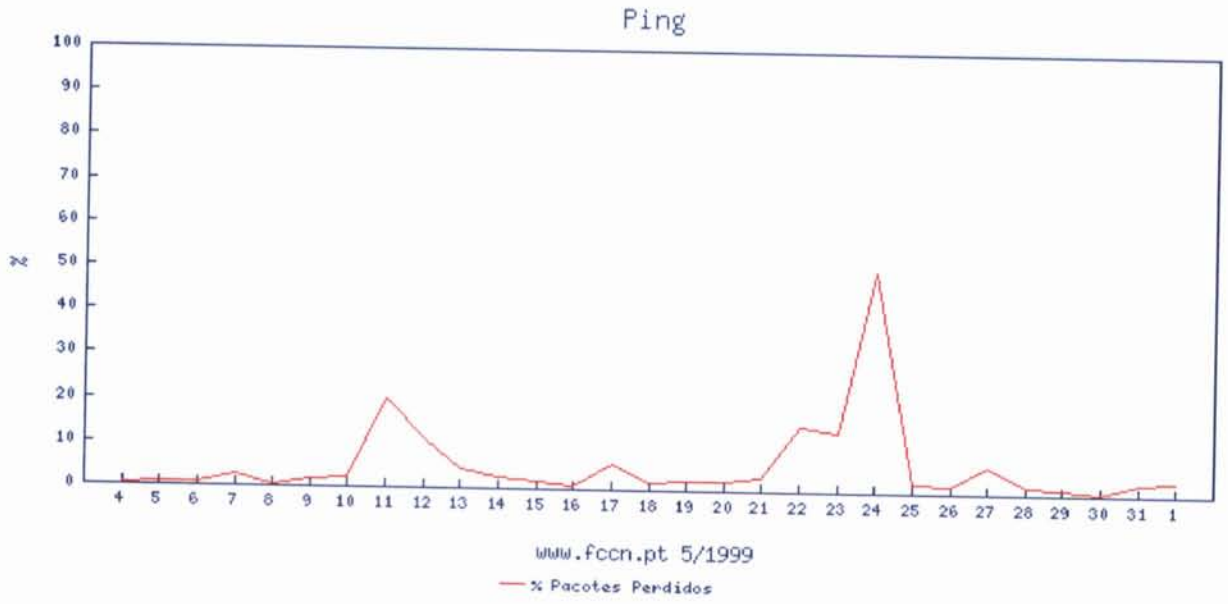

Figura 25 – FCCN, perda de pacotes, Maio 99 (100 bytes)

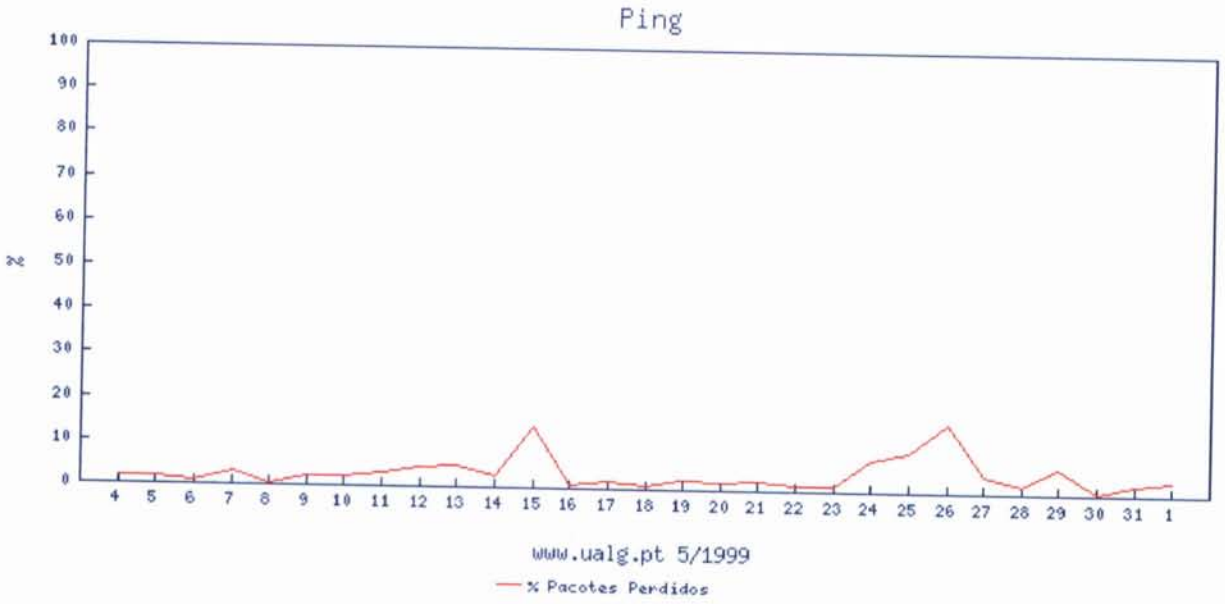

Figura 26 – Univ. Algarve, perda de pacotes, Maio 99 (100 bytes)

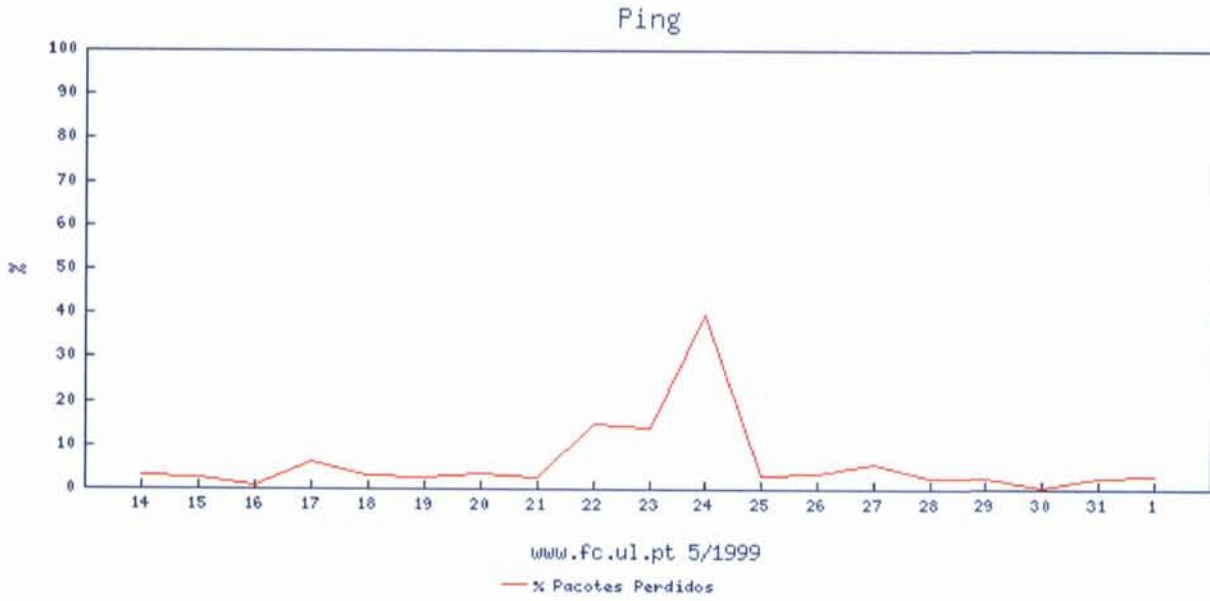

Figura 27 – FCUL, perda de pacotes, Maio 99 (100 bytes)

Analisando o comportamento do RTT no mês de Junho, para as instituições em causa, Figuras 28, 29 e 30, verificou-se que a partir de 4 Junho, o RTT voltou a flutuar entre os 40 e os 80 ms.

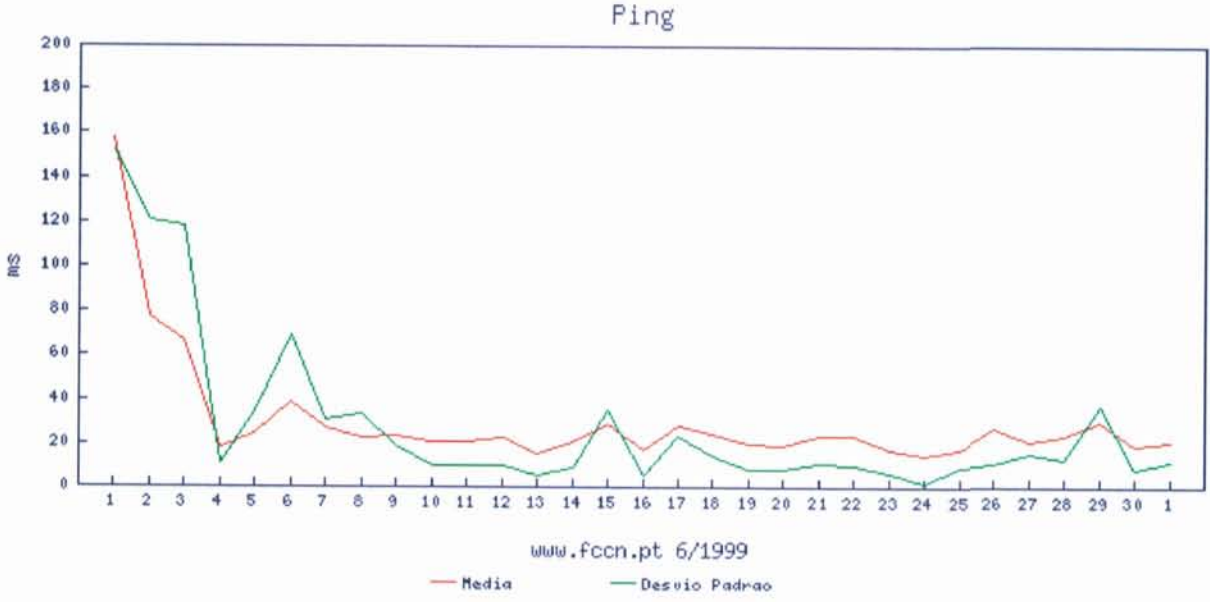

Figura 28 – FCCN, RTT Junho 99 (100 bytes)

BIBLIOTECA F.E. PORTO

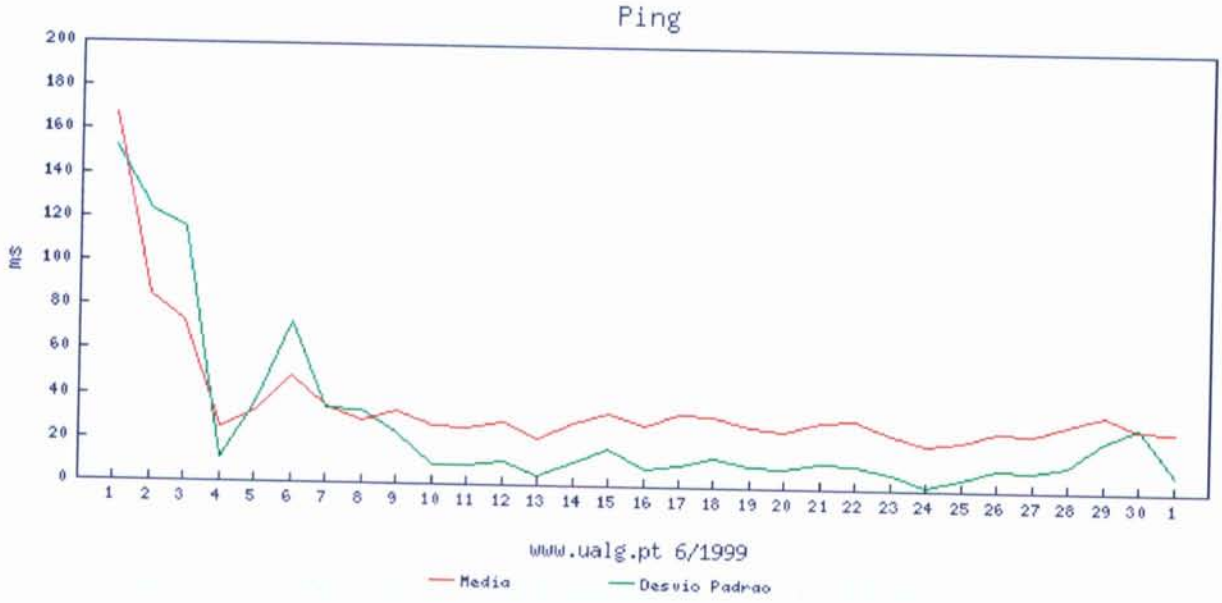

Figura 29 – Univ. Algarve, RTT Junho 99 (100 bytes)

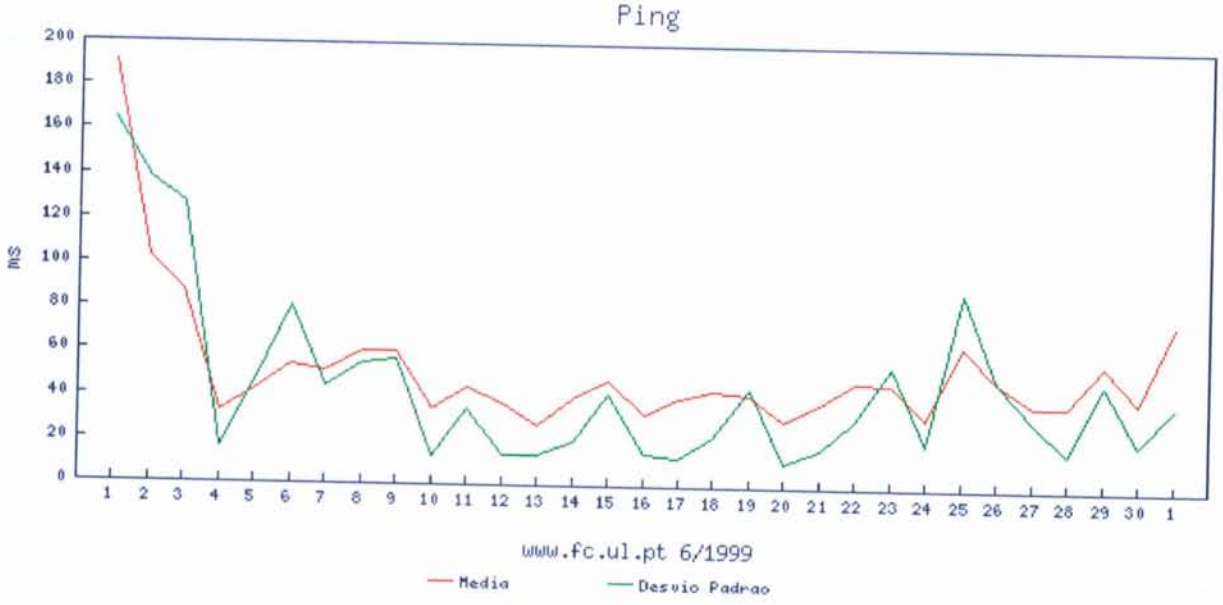

Figura 30 – FCUL, RTT Junho 99 (100 bytes)

No que diz respeito à perda de pacotes, Figuras 31, 32 e 33, os valores registados foram sensivelmente constantes ao longo de todo o mês.

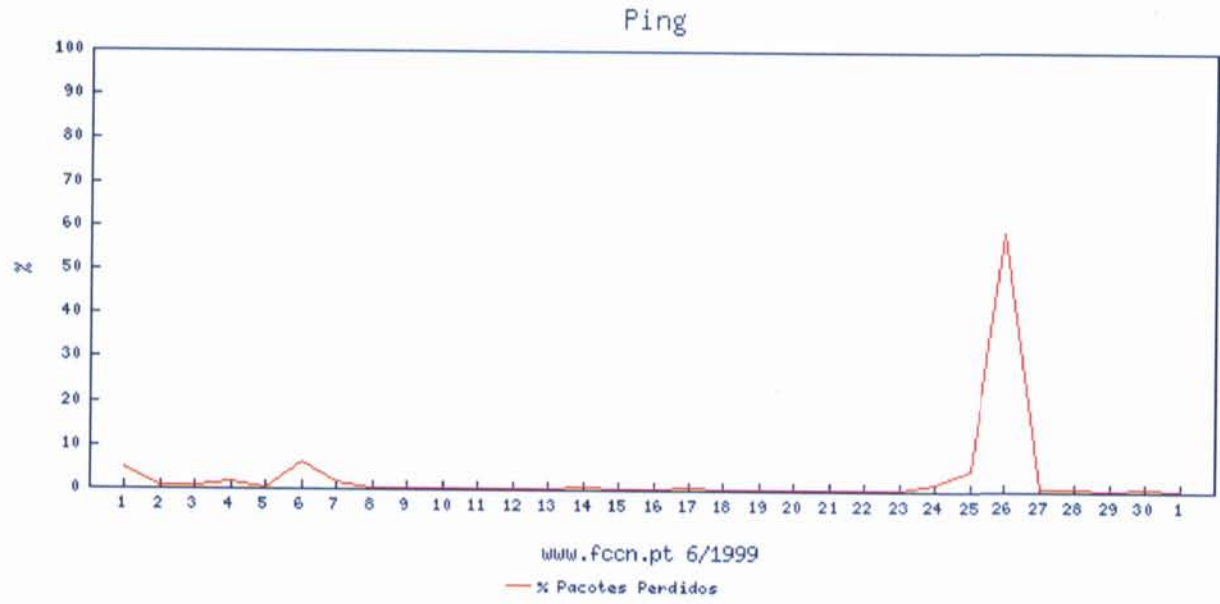

Figura 31 – FCCN, pacotes perdidos, Junho 99 (100 bytes)

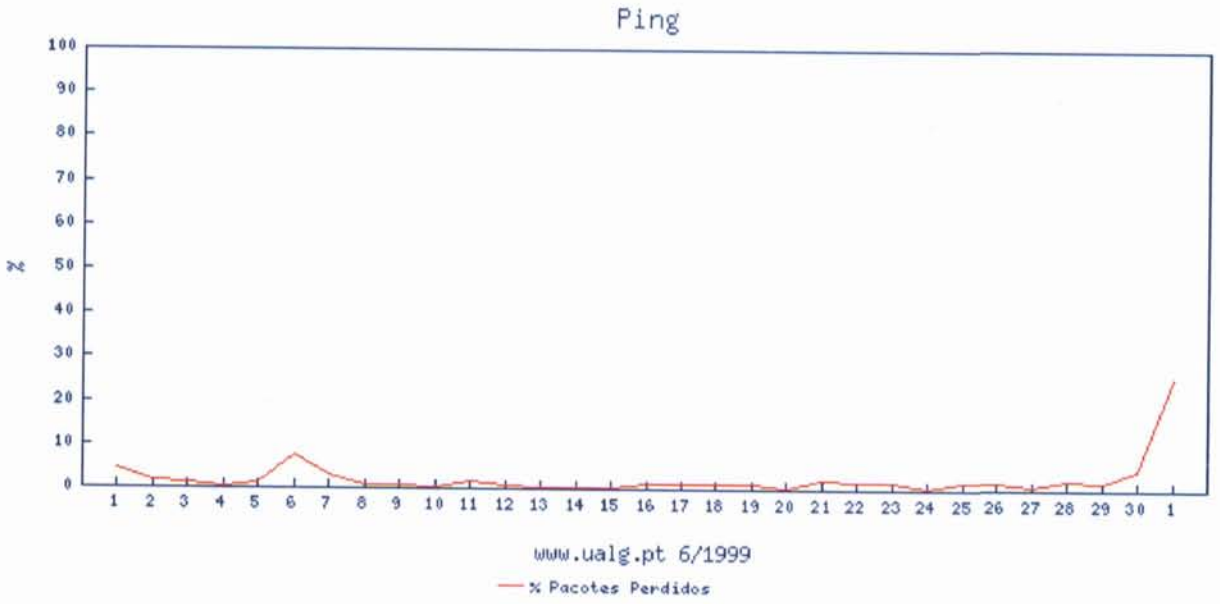

Figura 32 – Univ. Algarve, pacotes perdidos, Junho 99 (100 bytes)

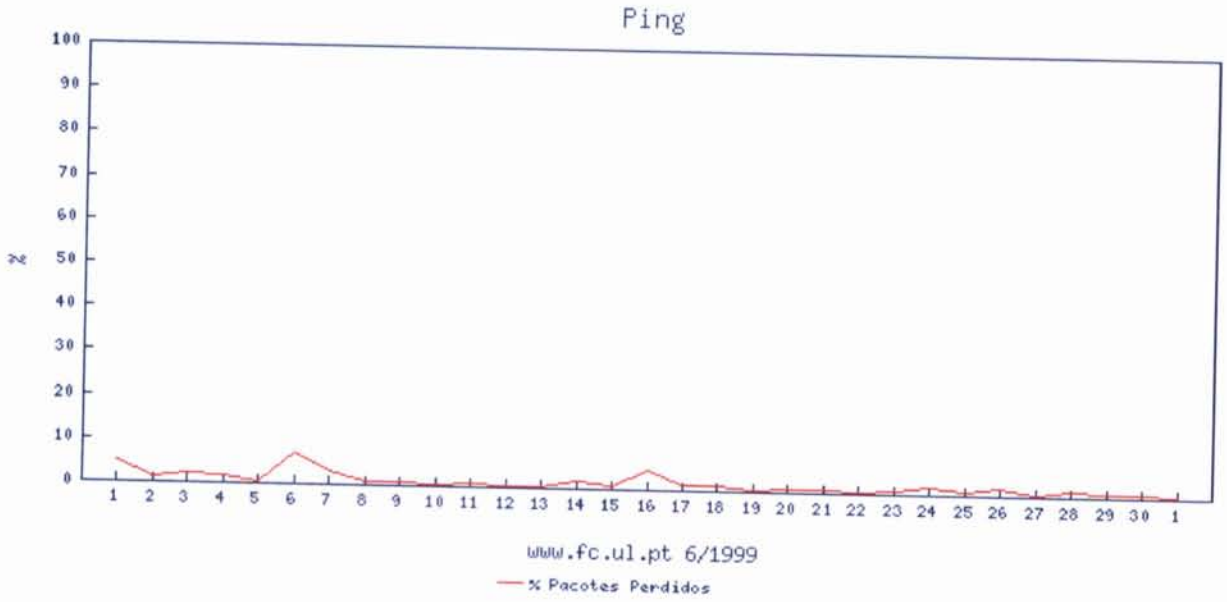

Figura 33 – FCUL, pacotes perdidos, Junho 99 (100 bytes)

Esta análise permite concluir que, entre o dia 19 e 31 de Maio, a ligação entre a FEUP e as instituições em teste, foi afectada por alguma circunstância anormal, visto que durante o mês de Junho, os valores obtidos indicam uma certa estabilidade. Este comportamento, aumento do RTT e percentagem de pacotes perdidos, verificou-se também quando se analisaram os dados das outras instituições para o período em questão (19 a 31 de Maio).

Analisando o comportamento do RTT ao longo do dia, entre o período nocturno (entre as 23 horas e as 7 horas) e o período diurno (entre as 7horas e as 23 horas), como se pode verificar na Tabela 16, não existe uma diferença significativa.

Seria de esperar que no período diurno o RTT aumentasse, uma vez que neste período, o número de utilizadores, e consequentemente, o tráfego na rede aumenta. Este aumento verifica-se, porém, quando se analisa a perda de pacotes, que aumenta ligeiramente em algumas ocasiões durante o período diurno.

Tabela 16 – FCCN, resultados diários, 9 Maio 99 (100 bytes)

www.fccn.pt - 100 bytes					
Maio dia 9	RTT (ms)		PP (%)	Pacotes	Pacotes
Hora	Média	Desvio	Média	Enviados	Recebidos
0	27,5	2,28	0	40	40
1	26,82	4,38	0	40	40
2	25,77	2,58	0	40	40
3	25,95	2,79	0	40	40
4	22,95	3,39	0	40	40
5	18,07	3,32	0	40	40
6	16,3	2,08	0	40	40
7	25,12	7,5	0	40	40
8	21,4	4,76	0	40	40
9	15,2	1,33	0	40	40
10	16,65	0,71	2,5	40	39
11	15,18	1,03	0	40	40
12	15,38	0,97	0	40	40
13	15,42	1,06	2,5	40	39
14	16,12	1,71	2,5	40	39
15	21,52	3,29	5	40	38
16	20,83	6,03	2,5	40	39
17	19,15	5,5	2,5	40	39
18	20,2	4,05	0	40	40
19	23,25	5,6	0	40	40
20	23,27	1,93	0	40	40
21	23,23	2,78	2,5	40	39
22	25,6	4,38	0	40	40
23	38,45	12,36	15	40	34

Como seria de esperar, as mesmas características verificam-se quando se analisam os dados das restantes instituições.

Na Tabela 17 e Tabela 18 apresentam-se os valores mensais, para os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto, relativamente aos servidores WWW das instituições testadas.

Na Tabela 17 apresentam-se os valores obtidos com pacotes de 100 bytes e na Tabela 18 apresentam-se os valores obtidos com pacotes de 1000 bytes.

Tabela 17 – Resumo dos resultados mensais (100 bytes)

100 bytes												
	Maio			Junho			Julho			Agosto		
	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)
Servidor WWW	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média
www.fccn.pt	85,07	134,3	5,31	29,13	53,14	2,7	47,53	71,96	4,15	37,03	57,1	7,23
www.ualg.pt	102,56	136,99	3,18	36,12	52,79	1,32	54,04	71,01	6,68	44,59	60,07	7,54
www.fc.ul.pt	102,56	165,15	3,18	36,12	65,78	1,32	54,04	92,13	6,68	44,59	89,92	7,54
www.ua.pt	94,72	147,59	6,15	53,06	78,68	3,44	82,1	101,6	19,12	77,37	96,55	13,51
www.uminho.pt	107,09	143,41	5,93	77,56	105,08	59,76	79,91	96,95	16,93	49,33	70,07	11,36
www.uc.pt	129,65	165,26	4,16	84,8	100,5	2,17	200,64	151,67	8,52	159,33	148,02	10,34
www.fct.unl.pt	122,49	157,03	7,46	59,09	79,29	3,97	70,52	85,63	6,38	55,38	80	19,4
www.ubi.pt	110,4	148,27	2,49	44,4	69,54	1,54	69,53	78,79	4,86	57,94	67,76	9,03
www.uevora.pt	110,9	143,92	2,44	52,88	70,64	3,61	78,33	98,93	5,99	60,54	72,28	9,74
www.ist.utl.pt	187,65	174,19	16,52	66,85	64,55	1,44	204,21	150,31	12,24	107,11	116,08	11,03
www.uac.pt	666,96	165,96	8,56	555,05	63,4	4,07	571,72	72,5	5,65	559,44	56,09	9,71
www.uma.pt	162,51	169,55	19,68	63,96	58,04	5,28	86,58	77,42	5,36	72,44	60,33	7,98
www.ipb.pt	94,36	135,15	9,67	43,9	64,56	6,97	54,19	62,51	10,15	52,52	62,7	14
www.ipvc.pt	476,91	1086,78	3,35	309,36	631,28	1,41	332,62	728,03	4,97	417,63	1211,04	7,79
www.ipcb.pt	170,23	151,67	8,44	108,37	76,42	4,58	125,21	121,96	6,2	105,56	90,17	7,46
www.ipv.pt	119,32	149,75	8,82	57,5	63,81	7,47	663,76	941,62	8,19	304,25	635,47	8,79
www.ipg.pt	90,5	134,58	3,7	34,88	53,69	2,22	46,93	54,39	6,7	49,48	58,02	9,05
www.ipt.pt	120,63	137,15	6,35	62,18	57,61	6,03	81,43	73,73	6,73	71,38	59,12	8,24
www.iplei.pt	303,29	413,02	3,34	137,79	260,53	1,91	255,85	374,25	9,11	471	590,91	10,49
www.ipsantarem.pt	113,65	141,28	6,4	37,32	57,15	1,42	54,24	73,31	4,02	42,33	58,13	7,27
www.est.ips.pt	2289,21	3351,07	30,72	1926,11	3113,28	21,81	594,07	1389,5	13,66	58,67	58,52	7,4

Tabela 18 – Resumo dos resultados mensais (1000 bytes)

1000 bytes												
	Maio			Junho			Julho			Agosto		
	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)
Servidor WWW	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média
www.fccn.pt	124,81	208,76	5,64	55,56	63,05	2,54	101,82	87,59	3,70	66,63	60,09	5,59
www.ualg.pt	169,21	339,25	3,73	75,20	64,39	1,27	123,87	92,38	6,32	87,15	63,31	5,50
www.fc.ul.pt	208,13	175,88	6,38	103,43	74,85	1,26	169,03	114,04	10,49	140,03	92,88	10,55
www.ua.pt	153,43	329,00	5,10	94,37	88,69	2,55	157,33	128,00	18,49	123,81	101,50	11,34
www.uminho.pt	163,56	215,91	5,33	116,77	108,67	59,30	157,45	132,03	15,29	96,66	80,41	8,82
www.uc.pt	184,61	182,98	3,66	126,15	108,15	1,88	278,95	174,34	6,65	205,95	154,79	7,36
www.fct.unl.pt	185,01	373,99	8,77	100,70	91,77	5,40	144,50	112,95	8,06	104,24	80,33	17,46
www.ubi.pt	184,03	339,61	2,29	102,15	78,99	1,20	161,89	242,87	4,27	119,11	75,09	6,71
www.uevora.pt	192,87	335,51	6,30	117,32	86,65	8,20	175,16	126,05	8,73	126,97	80,01	7,88
www.ist.utl.pt	411,55	231,64	18,90	250,20	121,48	3,32	288,11	177,46	11,86	155,13	125,72	9,60
www.uac.pt	788,11	182,17	8,30	612,00	75,05	4,03	656,47	93,75	5,37	617,77	62,84	8,35
www.uma.pt	273,55	179,69	19,47	151,80	69,58	5,40	205,70	100,77	4,95	163,58	67,68	6,30
www.ipb.pt	176,65	386,25	4,93	104,44	79,76	3,55	144,89	86,34	5,79	114,08	69,06	8,07
www.ipvc.pt	1164,96	1293,70	3,61	938,72	792,18	1,14	977,47	858,79	4,26	1020,24	1308,48	5,91
www.ipcb.pt	532,87	178,35	8,24	481,93	554,73	3,98	515,44	266,50	5,53	454,78	101,32	5,45
www.ipv.pt	250,58	326,31	8,91	162,89	71,51	6,78	870,33	994,09	6,81	477,78	680,12	6,52
www.ipg.pt	170,59	346,76	3,91	92,98	67,18	1,90	133,82	72,47	5,80	112,42	68,04	6,49
www.ipt.pt	315,36	319,44	6,56	234,99	67,26	5,93	283,85	93,48	5,85	246,11	63,56	6,29
www.iplei.pt	435,71	505,25	2,65	246,44	273,11	1,57	386,98	392,68	7,83	556,45	594,09	7,80
www.ipsantarem.pt	166,92	161,55	6,59	74,44	66,61	1,17	118,84	93,78	3,74	81,21	63,40	5,41
www.est.ips.pt	4088,46	4279,09	65,05	3755,52	4058,93	61,16	1565,86	3195,23	29,68	168,42	64,54	5,68

Após a análise destes valores, verifica-se que, de uma forma generalizada, os valores do RTT no mês de Maio são mais elevados que os verificados no mês de Junho, isto deve-se ao facto de:

- O mês de Maio ser o mês de início da recolha dos dados, que se iniciou no dia 4 para uns servidores e no dia 14 para outros.
- O comportamento verificado entre 19 de Maio e 4 de Junho, provocou o aumento generalizado dos RTT's de todos os servidores.

Deve-se também ter em conta que os resultados de Julho e Agosto podem estar de certa forma desviados da realidade pelos seguintes aspectos:

- Durante este período o número de utilizadores da RCCN diminui, visto coincidir com o período de férias de muitos utilizadores.

- Algumas instituições aproveitam este período de férias para fazerem manutenção em alguns dos seus computadores, o que poderá implicar um aumento da percentagem de pacotes perdidos.

Procurando verificar qual a relação entre os resultados obtidos com pacotes de 100 bytes e 1000 bytes, Tabela 17 e Tabela 18, obtiveram-se os valores da Tabela 19. Os valores apresentados são o valor médio da divisão do valor dos pacotes de 1000 bytes (RTT, desvio padrão e percentagem de perda de pacotes) pelos valores dos pacotes de 100 bytes de cada instituição.

Tabela 19 – Relação pacotes 1000/100 bytes

Relação 1000/100 bytes												
	Maio			Junho			Julho			Agosto		
	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)
	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média
Média	1,83	1,70	1,10	2,36	1,53	1,16	2,24	1,45	1,01	2,09	1,09	0,78
Correlação	0,99	1,00	0,93	0,98	0,99	0,87	0,85	0,93	0,77	0,85	1,00	0,96

Atendendo às indicações de Anderson e Finn (ANDERSON, 1996), conclui-se que existe uma correlação muito forte entre os valores obtidos com pacotes de 100 e 1000 bytes. No que diz respeito à perda de pacotes, os valores obtidos não diferem muito, obtendo-se uma relação muito próxima de 1 para 1. Quanto ao RTT, existe uma relação de aproximadamente 2 para 1.

Os mesmos resultados foram obtidos quando estas relações foram calculadas com base nos valores diários de algumas instituições.

Através destes valores conclui-se que:

- Se o objectivo é verificar o comportamento da rede, no que diz respeito à perda de pacotes para aplicações que utilizem o TCP, é pouco relevante o tamanho do pacote utilizado (ex: 100 ou 1000 bytes). Apenas se deve garantir que este não seja maior do que o MTU da rede, para evitar a sua fragmentação, uma vez que o TCP cria pacotes de forma e evitar a sua fragmentação. Utilizando

pacotes pequenos tem a vantagem de diminuir a quantidade de tráfego que se coloca na rede.

- Se o objectivo é determinar o RTT no que diz respeito a servidores WWW, conforme mencionado no capítulo 6, "Validação do uso do `ping`", o tamanho do pacote cuja correlação com o pedido HTTP GET tem maior valor, é o de 1000 bytes. Contudo, e atendendo aos resultados da Tabela 19, utilizando pacotes de 100 bytes e multiplicando o valor do RTT por um factor de 2, é possível obter um valor bastante próximo, com o benefício de se introduzir menos tráfego na rede.

No que diz respeito a esta última consideração, deve-se ter em atenção que:

- Geralmente um utilizador não faz um HTTP GET de uma página 10 vezes consecutivas,
- Muitas vezes, a obtenção de uma página HTML implica múltiplos HTTP GET's (ex. páginas com *frames*),
- Usualmente um utilizador não sabe antecipadamente o tamanho da página que vai visualizar,
- Browsers diferentes podem realizar os HTTP GET's que compõe uma página HTML de uma forma sequencial ou em paralelo,
- Mesmo depois de obter o HTTP GET, o browser tem que fazer o *display* do mesmo,
- Os servidores de WWW antes de responderem podem ter que executar algum programa (ex. acesso a bases de dados), o que torna as respostas mais lentas,
- Alguns HTTP GET's podem estar já armazenados localmente (cache).

Por tais factos, os valores do RTT obtidos com pacotes de 1000 ou 100 bytes devem ser considerados como uma referência sempre que um utilizador procura aceder ao servidor em questão e não como o tempo de demora a fazer um pedido ao servidor em causa.

7.3. Comparação entre servidores WWW e encaminhadores

Uma vez que, regra geral, à entrada de cada instituição existe um encaminhador que faz a ligação dessa instituição com a RCCN, procurou-se verificar a relação entre os valores dos servidores WWW e dos encaminhadores.

Na Tabela 20 apresentam-se os resultados dos encaminhadores testados.

Tabela 20 – Resultados dos encaminhadores (100 bytes)

100 bytes												
	Maio			Junho			Julho			Agosto		
	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)	RTT (ms)		PP (%)
Encaminhador	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média	Média	Desvio	Média
ROUTER13.ATM2-0.7.Lisboa.rccn.r	140,27	163,82	6,95	29,28	56,5	1,73	48,52	75,76	4,76	37,12	58,96	7,39
UALG.Faro.rccn.net	150,84	169,55	3,69	35,47	52,63	1,16	53,93	72,81	6,21	43,8	57,18	7,12
UL.Lisboa.rccn.net	156,55	172,03	7,05	43,65	63,66	0,52	72,38	88,71	4,56	70,48	83,57	8,17
UA.Aveiro.rccn.net	157,87	187,63	3,77	48,45	78,39	2,6	78,38	97,23	7,73	74,68	95,16	12,74
UMinho.Braga.rccn.net	164,77	225,94	4,67	49,12	75,29	3,07	68,48	82,75	8,01	43,96	69,87	8,98
UC.Coimbra.rccn.net	189,81	206,57	3,56	79,48	101,25	1,84	190,04	147,56	8,5	153,42	147,79	10,22
UNL.Caparica.rccn.net	176,12	179,1	7,65	49,64	65,88	2,26	64,93	81,1	5,15	51,48	68,1	8,29
UBI.Covilha.rccn.net	168,33	184,3	2,57	44,72	70,54	1,28	72,15	76,79	5,05	60,17	70,32	8,58
ROUTER22.Serial1-3.Evora.rccn.ne	153,93	170,6	2,74	40,68	61,98	0,82	57,85	77,89	4,41	45,3	58,4	7,11
UTL.Lisboa.rccn.net	189,52	183,49	7,52	61,01	64,89	1,05	184,28	133,79	9,94	102,71	115,5	9,07
UAC.PDelgada.rccn.net	685,53	171,19	9,73	554,32	59,46	3,55	572	73,02	4,44	560,5	58,03	7,06
UMA.Funchal.rccn.net	184,45	177,28	24,15	62,56	58,78	3,47	87,33	79,37	5,65	72,34	63,05	7,78
IPB.Braganca.rccn.net	151,9	174,08	8,96	44,57	69,69	7,4	56,38	67,97	10,93	51,24	61,95	13,46
IPG.Guarda.rccn.net	146,64	170,1	11,52	34,85	55,75	2,19	48,76	55,87	6,62	49,79	59,81	14,44
IPT.Tomar.rccn.net	176,59	171,33	7,96	63,22	59,68	5,87	84,24	76,04	6,85	72,75	62,03	8,23
ROUTER30.SERIAL0.Leiria.rccn.ne	137,17	166,35	2,26	32,24	54,64	0,99	48,58	59,23	4,93	45,51	56,8	8,67
UTAD.VReal.rccn.net	190,5	230,76	31,72	49,28	75,47	2,19	89,41	101,27	5,4	40,03	62,51	7,54

Para verificar a relação entre os valores dos servidores WWW e dos encaminhadores, não se tiveram em consideração os valores do mês de Maio,

uma vez que os testes não começaram na mesma data. Os encaminhadores começaram a ser testados no dia 17 de Maio e os servidores começaram a ser testados dia 4 e 14.

Tabela 21 – Comparação Servidor WWW / Encaminhador

100 bytes		Junho		Julho		Agosto	
Servidor www / Encaminhador		RTT (ms)	PP (%)	RTT (ms)	PP (%)	RTT (ms)	PP (%)
		Média	Média	Média	Média	Média	Média
www.fccn.pt	ROUTER13.ATM2-0.7.Lisboa.rccn.net	0,99	1,56	0,98	0,87	1,00	0,98
www.ualg.pt	UALG.Faro.rccn.net	0,86	1,02	1,00	1,14	1,00	0,98
www.fc.ul.pt	UL.Lisboa.rccn.net	0,45	0,83	1,03	2,54	0,75	1,04
www.ua.pt	UA.Aveiro.rccn.net	1,63	1,10	1,00	1,32	1,05	1,04
www.uminho.pt	UMinho.Braga.rccn.net	1,27	1,58	1,40	19,47	1,17	1,17
www.uc.pt	UC.Coimbra.rccn.net	1,17	1,07	0,99	1,18	1,06	1,03
www.fct.unl.pt	UNL.Caparica.rccn.net	0,98	1,19	1,20	1,76	1,09	1,06
www.ubi.pt	UBI.Covilha.rccn.net	0,97	0,99	0,99	1,20	0,96	1,03
www.uevora.pt	ROUTER22.Serial1-3.Evora.rccn.net	0,89	1,30	1,14	4,40	1,35	1,27
www.ist.utl.pt	UTL.Lisboa.rccn.net	2,20	1,10	0,99	1,37	1,11	1,12
www.uac.pt	UAC.PDelgada.rccn.net	0,88	1,00	1,07	1,15	1,00	0,99
www.uma.pt	UMA.Funchal.rccn.net	0,81	1,02	0,99	1,52	0,99	0,98
www.ipb.pt	IPB.Braganca.rccn.net	0,62	0,78	1,08	0,98	0,93	0,94
www.ipg.pt	IPG.Guarda.rccn.net	0,62	0,79	0,32	1,00	0,96	1,01
www.ipt.pt	IPT.Tomar.rccn.net	0,68	0,80	0,80	0,98	0,97	1,03
www.iplei.pt	ROUTER30.SERIAL0.Leiria.rccn.net	2,21	2,48	1,48	4,27	4,77	1,93

Analisando os meses de Junho, Julho e Agosto, Tabela 21, na qual se apresenta o resultado da divisão dos valores dos servidores WWW pelos valores do respectivo encaminhador, verifica-se que os valores não são muito diferentes.

Relativamente ao RTT, uma vez que o caminho percorrido entre o computador *Base* e o encaminhador é menor que entre a *Base* e o servidor WWW, seria de esperar que o RTT entre a *Base* e o encaminhador fosse menor. Contudo, esta propriedade não se manifesta.

Uma das razões para este facto é que, os encaminhadores são optimizados para fazerem o encaminhamento dos pacotes e não para estabelecerem comunicação com computadores. Outra justificação pode ser dada pelo comportamento errático da Internet.

Relativamente à percentagem de pacotes perdidos, várias vezes se verifica que a percentagem apresentada pelo encaminhador é relativamente inferior à do respectivo servidor. Este sintoma pode indicar que a rede da instituição onde está colocado o seu servidor WWW poderá estar com problemas de tráfego.

Exemplos destes são o servidor da Universidade de Évora, Universidade de Coimbra e Instituto Politécnico de Leiria.

Durante o mês de Junho, o servidor da Universidade do Minho apresenta uma percentagem de perda de pacotes bastante superior à percentagem de perda de pacotes verificada no encaminhador da respectiva instituição. Este facto pode indicar que o servidor desta instituição esteve em manutenção.

7.4. Classificação das ligações

Em estudos realizados nos inícios dos anos 80, Walt Doherty procurou caracterizar o efeito do atraso relativamente à interacção entre o homem e o computador (COTTRELL, 1999b), cujo resultado se apresenta :

0 – 0.4 s	Regime extremamente interactivo
0.4 – 2 s	Regime interactivo
2 – 12 s	Regime com interactividade esporádica
12 – 600 s	Regime com perda de contacto

Para novas aplicações da Internet, como por exemplo voz sobre IP existem outros níveis a respeitar. Segundo o ITU, (ITU G.117), o atraso num sentido pode admitir valores até 150 ms. Abaixo deste nível, o atraso provoca dificuldades quando se tenta manter uma conversação.

No que diz respeito ao RTT, em 1995, o Network Usage and Quality Advisor Group da rede Alemã, SURFnet, definiu como nível mínimo de qualidade de serviço para trabalho em linha, que o RTT não deveria ultrapassar os 125 ms, sem perda de pacotes (NOORDIK, 1999).

No que diz respeito à perda de pacotes, Ursula Schwantag realizou um teste para verificar a influência da perda de pacotes na inteligibilidade de áudio sobre a Internet (SCHWANTAG, 1999). Verificou-se então que mesmo uma taxa de 1% é notada. Com 13 % de perda de pacotes, todas as palavras são entendidas, mas verificam-se muitos saltos, com 15% é necessária muita concentração para seguir um discurso, com 20% muitas palavras continuam perceptíveis graças à inteligência humana, a 25% apenas algumas palavras se conseguem entender.

Apesar da percentagem de perda de pacotes ser um factor determinante da qualidade da ligação, não se pode esquecer que o número de pacotes por segundo influencia em muito a inteligibilidade. A uma taxa de 6 pacotes por segundo, a perda de um pacote pode significar a perda de meia frase, com 50 pacotes por segundo, a perda de um pacote é quase insignificante. Perante este facto conclui-se que se pode melhorar a inteligibilidade do áudio através da utilização de pacotes mais pequenos.

O ITU TIPHON working group definiu que, para áudio através da Internet, menos de 3% de perda de pacotes é considerado bom, 15% médio e 25% como pobre (COTTRELL, 1999b).

Uma vez que a avaliação que se propõe neste trabalho tem maior incidência sobre servidores WWW, deve-se ter em consideração que este serviço tem uma taxa interactiva relativamente elevada. Por forma a classificar os caminhos testados, em conformidade com o tipo de serviço em causa, elaborou-se a seguinte tabela de classificação:

Tabela 22 – Parâmetros de classificação

RTT		Perda de pacotes	
x < 65 ms	Muito bom	x < 3%	Muito bom
x < 125 ms	Bom	x < 5%	Bom
x < 250 ms	Médio	x < 10%	Médio
x < 500 ms	Pobre	x < 15%	Pobre
x > 500 ms	Muito pobre	x > 15%	Muito pobre

Utilizando pacotes de 100 bytes obteve-se a seguinte Tabela 23:

Tabela 23 – Classificação das ligações aos servidores WWW

100 bytes								
	Maio		Junho		Julho		Agosto	
Servidor WWW	RTT (ms)	PP (%)	RTT (ms)	PP (%)	RTT (ms)	PP (%)	RTT (ms)	PP (%)
www.fccn.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	BOM	MUITO BOM	MÉDIO
www.ualg.pt	BOM	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO
www.fc.ul.pt	BOM	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO
www.ua.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	BOM	BOM	MUITO POBRE	BOM	POBRE
www.uminho.pt	BOM	MÉDIO	BOM	MUITO POBRE	BOM	MUITO POBRE	MUITO BOM	POBRE
www.uc.pt	MÉDIO	BOM	BOM	MUITO BOM	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	POBRE
www.fct.unl.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	BOM	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MUITO POBRE
www.ubi.pt	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	BOM	BOM	MUITO BOM	MÉDIO
www.uevora.pt	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	BOM	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO
www.ist.utl.pt	MÉDIO	MUITO POBRE	BOM	MUITO BOM	MÉDIO	POBRE	BOM	POBRE
www.uac.pt	MUITO POBRE	MÉDIO	MUITO POBRE	BOM	MUITO POBRE	MÉDIO	MUITO POBRE	MÉDIO
www.uma.pt	MÉDIO	MUITO POBRE	MUITO BOM	MÉDIO	BOM	MÉDIO	BOM	MÉDIO
www.ipb.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO BOM	POBRE	MUITO BOM	POBRE
www.ipvc.pt	POBRE	BOM	POBRE	MUITO BOM	POBRE	BOM	POBRE	MÉDIO
www.ipcb.pt	MÉDIO	MÉDIO	BOM	BOM	BOM	MÉDIO	BOM	MÉDIO
www.ipv.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO POBRE	MÉDIO	POBRE	MÉDIO
www.ipg.pt	BOM	BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO
www.ipt.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO	BOM	MÉDIO	BOM	MÉDIO
www.iplei.pt	POBRE	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	POBRE	MÉDIO	POBRE	POBRE
www.ipsantarem.pt	BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MUITO BOM	MUITO BOM	MÉDIO	MUITO BOM	MÉDIO
www.est.ips.pt	MUITO POBRE	MUITO POBRE	MUITO POBRE	MUITO POBRE	MUITO POBRE	POBRE	MUITO BOM	MÉDIO

Em Maio 63% dos servidores tinham RTT's inferiores a 125 ms e 27,2% tiveram perdas de pacotes inferiores a 5%. Durante o mês de Junho 63% dos servidores tinham RTT's inferiores a 65 ms e 45,5% tiveram perdas de pacotes inferiores a 3%.

Em Julho 63,6% dos servidores testados tinham RTT's inferiores a 125 ms e 18% tiveram perdas de pacotes inferiores a 5%. Finalmente, em Agosto

54% tinham RTT's inferiores a 65 ms e 63,5% tiveram perdas de pacotes inferiores a 10%.

Numa apreciação global, as ligações aos servidores das instituições testadas, relativamente ao RTT são boas, o mesmo não se pode dizer relativamente à perda de pacotes. A maioria das instituições testadas apresentam RTT's inferiores a 125 ms, relativamente à perda de pacotes, algumas instituições apresentam valores mensais inferiores a 5% e quase todas têm valores inferiores a 10%.

Relativamente ao Instituto Politécnico de Viana do Castelo e Instituto Politécnico de Leiria, os tempos de acesso a estas instituições são bastante elevados.

A Universidade de Coimbra e o Instituto Superior Técnico têm uma ligação cujos valores são irregulares ao longo dos meses.

Relativamente ao Instituto Politécnico de Viseu, a qualidade da sua ligação tem vindo a degradar-se no que diz respeito ao RTT.

A Universidade dos Açores também tem uma ligação cujo RTT é muito elevado. Este problema deve-se ao facto da ligação desta universidade ser feita por satélite.

Relativamente ao Instituto Politécnico de Setúbal (Escola Superior de Tecnologia), verifica-se que os RTT's e a perda de pacotes mudaram a partir de Agosto, indicando que existiram alterações a nível da ligação desta instituição, melhorando assim o acesso ao seu servidor.

7.5. Considerações

Relativamente a estes resultados, as seguintes considerações devem ser tidas em linha de conta:

- Os resultados são obtidos a partir de um computador localizado no Centro de Informática da Faculdade de Engenharia, pelo que, alterações no comportamento da rede local a que este está ligado, ou mesmo no encaminhador desta instituição, reflectem-se nos resultados obtidos.
- Conforme referido anteriormente, os valores obtidos através do `ping` não indicam o tempo que demora a fazer um pedido de uma página WWW, ou seja, um HTTP GET. Estes valores funcionam como um indicador, como foi referido por Less Cottrell e John Halperin. Se se souber em avanço o valor mínimo ou médio do tempo de resposta do `ping` para servidores WWW, o tempo de resposta a um HTTP GET para o mesmo servidor é moderadamente previsível.
- Hoje em dia, com o desenvolvimento das tecnologias, muitas das páginas WWW são compostas por várias páginas, caso das *frames*, o que implica vários HTTP GET's.
- O acesso a páginas que envolvem a consulta de bases de dados têm tempos de resposta superiores, uma vez que o servidor tem que executar determinado código antes de devolver a resposta (ex: CGI's)
- Com a utilização de Proxy's, que permitem manter em *cache* os últimos pedidos, os resultados podem ser completamente alterados.
- Alguns servidores WWW, apesar de responderem a pedidos HTTP GET, não respondem aos ICMP "echo request". Como exemplo temos a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Possivelmente porque proibiram a entrada dos ICMP "echo request", provavelmente para evitar o ataque denominado de "Ping o'Death"

(KENNEY, 1999), pelo que este sistema não permite monitorizar servidores nestas circunstâncias.

- Um servidor WWW pode responder aos ICMP "echo request", contudo o serviço de WWW pode não estar operacional.
- Os resultados não podem ser utilizados para definir o comportamento geral da Internet em Portugal, uma vez que apenas se testaram servidores de instituições que estão ligadas directamente à RCCN e não à Internet comercial Portuguesa.

Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas Futuras

8.1. Satisfação dos objectivos propostos

De uma maneira geral, pode concluir-se que os objectivos deste trabalho foram alcançados. Fez-se uma apresentação da evolução da Internet, assim como o levantamento de alguns dos sistemas de monitorização existentes, métricas utilizadas e metodologias aplicadas.

Propôs-se e fundamentou-se um sistema de monitorização da RCCN, que conduziu à sua implementação.

Com os dados obtidos fez-se a análise do comportamento da rede e classificaram-se as ligações entre a FEUP e as instituições testadas.

Algumas das vantagens do uso deste sistema de monitorização e avaliação merecedoras de destaque são:

- Independência – O sistema pode ser implementado sem necessitar de colaboração de terceiros;

- Simplicidade – Por utilizar métricas obedecendo ao sistema dois sentidos, que são obtidas utilizando um programa que é nativo em quase todos os sistemas operativos, o `ping`;
- Abrangência – Por utilizar o programa `ping`, é possível testar um vasto conjunto de computadores, por exemplo servidores de WWW, email, news, ftp, etc., assim como encaminhadores (desde que não existam restrições a pacotes ICMP);
- Acessibilidade – Uma vez que os dados podem ser consultados a partir de qualquer ponto da Internet, utilizando um browser para o efeito.

Algumas das desvantagens do uso deste sistema de monitorização e avaliação foram mencionadas no Capítulo 7: , ponto 7.5 (Considerações).

No que diz respeito à evolução das redes de computadores, o estudo realizado permite concluir que, o que acerca de 30 anos não passava de pura investigação, hoje apresenta-se como uma realidade incontornável. Através das redes de computadores, o conceito de "Aldeia Global" tomou forma e, em certas circunstâncias, permitiu que as distâncias que se mediam em quilómetros se passassem a medir em segundos, permitindo que as economias e o desenvolvimento fossem acelerados. Contudo ainda existe muito a fazer.

Relativamente a Portugal, o enorme esforço despendido para colocar de pé toda uma infra-estrutura que interliga a comunidade científica nacional entre si e com as congéneres mundiais, deve ser continuado por forma a disponibilizar para a comunidade científica nacional infra-estruturas que permitam experimentar e desenvolver novas tecnologias, como as que estão a ser desenvolvidas nos Estados Unidos da América, conforme referido nas iniciativas NGI e Internet2. Este desenvolvimento é crucial tanto para a comunidade académica como para a economia nacional, uma vez que este desenvolvimento poderá funcionar como um impulsionador para que Portugal passe a ocupar na Europa um lugar de maior destaque.

Deve-se também ter em atenção que este desenvolvimento deve ser acompanhado por todas as instituições intervenientes, nomeadamente na actualização das suas infra-estruturas. Todas as instituições deveriam adoptar políticas que permitissem minimizar a introdução de tráfego na rede. Atendendo a que os serviços que introduzem maior carga na rede são os serviços de WWW e FTP, através da implementação de *"proxy's"* para o serviço WWW, e *"mirror's"* para o serviço FTP, seria possível reduzir o tráfego, permitindo desta forma disponibilizar mais largura de banda para aplicações com necessidades específicas.

Deste ponto de vista, serão muito úteis serviços de apoio à comunidade científica disponibilizados pela FCCN. Neste momento a FCCN tem como projectos:

- Piloto IPv6 – Este projecto pretende abordar e explorar as possibilidades oferecidas pelo protocolo IPv6, disseminando a sua utilização à RCCN.
- Multicast IP (MBone) – Este projecto pretende integrar capacidades de *multicast* no *backbone* da RCCN tendo em vista o fornecimento de novos serviços com base nesta tecnologia.
- WebCache – Projecto onde se procuram definir cenários flexíveis de reserva de recursos para sistemas de cache, por forma a implementar metodologias que optimizem os recursos existentes.
- NetVideo – Projecto através do qual se procura disponibilizar serviços assentes nas tecnologias de vídeo sobre IP para a RCCN/RCTS. O objectivo deste projecto é montar um serviço de videodifusão sem arquivo, assim como produzir recomendações com especificações técnicas para as instituições que pretendam receber/emitir sessões vídeo em unicast/multicast.

Contudo, a disponibilização de novos serviços que permitam desenvolver novas aplicações é muito importante. Como exemplo de novas aplicações temos:

- Bibliotecas digitais
- Sistemas de Ensino à Distância
- Aplicações de Tempo Real
- Voz sobre IP
- Computação distribuída

Espera-se que com a liberalização do mercado das comunicações em Portugal, os custos das mesmas baixem, possibilitando assim, que se usufrua de uma maior largura de banda pelo mesmo valor, por forma a que as instituições usufruam de infra-estruturas capazes para poderem testar e desenvolver novas aplicações.

8.2. Propostas para trabalho futuro

Como propostas de trabalho futuro, pretende-se criar a interface WWW, por forma a ser possível fazer uma escolha *"on-line"* do servidor e do período de visualização dos resultados.

Incorporar mais ferramentas nos testes, como por exemplo o Traceroute, por forma a ser possível determinar em que ponto do caminho existe interrupção, sempre que um conjunto de ICMP "echo request" não chega ao destino, assim como determinar a largura de banda disponível.

Desenvolver um sistema de alarme que informe o administrador do sistema sempre que se verifiquem falhas nas ligações.

Desenvolver um pacote de software que permita a instalação deste sistema de monitorização e avaliação em mais instituições, por forma a obter

resultados a partir de vários pontos. Desta forma seria possível estabelecer uma malha com resultados dos vários caminhos, medidos a partir de pontos diferentes.

Seleccionar um conjunto de servidores WWW da Internet comercial Portuguesa, por forma a avaliar a qualidade da ligação entre a FEUP e os servidores seleccionados.

Bibliografia

ADAMS, Andrew; MAHDAVI, Jamshi; MATHIS,Matt; PAXSON, Vern – Creating a Scalable Architecture for Internet Measurement. <http://www.psc.edu/~mahdavi/nimi_paper/NIMI.html> [Consulta: 1999-01-20].

ALMES, Guy; KALIDINDI, Sunil; ZEKAUSKAS, Mathew J. – One-way Packet Loss: Internet Draft. 1999a. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ippm-loss-07.txt> [Consulta: 1999-03-20].

ALMES, Guy; KALIDINDI, Sunil; ZEKAUSKAS, Mathew J. – One-way Delay Metric: Internet Draft. 1999b. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ippm-delay-07.txt> [Consulta: 1999-03-20].

ALMES, Guy; KALIDINDI, Sunil; ZEKAUSKAS, Mathew J. – A Round-trip Delay Metric: Internet Draft. 1999c. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ippm-rt-delay-01.txt> [Consulta: 1999-03-20].

ANDERSON, T.W.; FINN, Jeremy D. – The New Statistical Analysis of Data. Springer Verlag,1996.

COTTRELL, Les; HALPERIN, John – Effects of Internet Performance on Web Response Times. 1999a. <http://www.slac.stanford.edu/comp/net/wan-mon/ping/correlation.html> [Consulta: 1999-03-20].

COTTRELL, Les; MATTEWS, Warren; LOGG, Connie – Tutorial on Internet Monitoring at SLAC. 1999b. <http://www.slac.stanford.edu/comp/net/wan-mon/tutorial.html> [Consulta: 1999-04-20].

COTTRELL, Les; MATTEWS, Warren – May 1998 Report of the ICFA-NTF Monitoring Working Group. 1998. <http://www.slac.stanford.edu/xorg/icfa/ntf/mon-wg-report-may98.html> [Consulta: 1999-04-20].

CROVELLA, Mark E.; CARTER, Robert L. – Dynamic Server Selection in the Internet. 1995.

DEMICHELIS, C. – Instantaneous Packet Delay Variation Metric: Internet Draft. 1998. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ippm-ipdv-03.txt> [Consulta: 1999-03-20].

HORNEFFER, Martin. <http://www.advanced.org/IPPM/archive/0246.html>, [Consulta: 1999-03-20].

INTERNET END-TO-END Performance Monitoring. <http://www-iepm.slac.stanford.edu/> [Consulta: 1999-03-20].

INTERNET2 MISSION: About. <http://www.internet2.edu> [Consulta: 1999-02-12].

KENNEY, Malachi – It's the Ping o'Death Page!. <http://flowserv.teco.uni-karlsruhe.de/ping> [Consulta: 1999-08-03].

KLEINROCK, Leonard, *et al* – History of the Net: WebSigh, Inc. <http://www.websigh.com/history.html> [Consulta: 1999-01-15].

LIVRO VERDE para a Sociedade da Informação em Portugal. <http://www.missao-si.mct.pt/livro_verde/> [Consulta: 1999-01-20].

MAHDAVI, Jamshi; PAXSON, Vern – IPPM Metrics for Mesuring Connectivity: RFC 2498. 1999.

MATHIS, Matt – TReno Bulk Transfer Capacity: Internet Draft. 1999. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ippm-treno-btc-03.txt> [Consulta: 1999-03-20].

MIKE MUUSS BIOGRAPHY. <http://ftp.arl.mil/~mike/> [Consulta: 1999-05-20].

NEXT GENERATION Internet Iniciative: NGI Implementation Plan. <http://www.ngi.gov/> [Consulta: 1999-01-11].

NOORDIK, Jan H.; LEUNISSEN, J. A. M.; CUELENAERE, K. – Network Performance Monitoring in EMBnet. <http://www.imbb.forth.gr/vol4_3/ping.html> [Consulta: 1999-03-20].

PARTICLE PHISICS Network Co-ordinating Group: Network Monitoring Page. <http://hepunx.rl.ac.uk/ppncg/netmon.html> [Consulta: 1999-03-20].

PAXSON, Vern; ALMES, Guy; MAHDAVI Jamshi; MATHIS, Matt - Framework for IP Performance Metrics: RFC 2330. 1998.

PEOPLE NETWORK Performance Management Service. <http://www.people-network.com/tb.htm> [Consulta: 1999-03-20].

PLUMMER, D.C. – An Ethernet Address Resolution Protocol: RFC 826. 1982.

POSTEL, J. – Internet Control Message Protocol: RFC 792. 1981.

RIBEIRO, Lígia – Algumas notas sobre a História da Internet. <http://www.fe.up.pt/~lmr/mgi/GOII_historia.html> [Consulta: 1998-09-10].

RUTHFIELD, Scott – The Internet's History and Devlopment. 1995. <http://www.cce.ufes.br/historia.htm> [Consulta: 1999-01-20].

SANZ, Miguel A. – Fundamentos históricos de la Internet en Europa y en Espanha. <http://www.rediris.es/rediris/boletin/45/enfoque2.html> [Consulta: 1999-01-26].

BIBLIOTECA F.E. PORTO

SCHWANTAG, Ursula – Effects of packet loss in audio and video applications. <http://network-services.uoregon.edu/~ursula/thesis/node33.html> [Consulta: 1999-09-17].

SIEVER, Ellen – Linux in a Nutshell: A Desktop Quik Reference. 2ª Edition. O'Reilly, 1999.

STEVENS, W. Richard – TCP/IP Illustrated: The Protocols. Massachusetts: Addison-Wesley, 1994 , vol. 1.

THE HISTORY of ARPA leading up to the ARPANET. <http://www.dei.isep.ipp.pt/docs/arpa--1.html> [Consulta: 1999-01-13].

UIJTERWALL, Henk; KOLKAN, Olaf – Internet Delay Measurements using Test Traffic. RIPE NCC, 1997.

ZAKON, Robert H. – Hobbes' Internet Timeline: v4.0. <http://www.isoc.org/zakon/Internet/History/HIT.html> [Consulta: 1999-01-13].

BIBLIOTECA F.E. PORTO

Glossário

ARPA – Advanced Research Projects Agency

CERN – European Center for Nuclear Research

FTP – File Transfer Protocol

HTML – HiperText Markup Language

HTTP – Hipertext Transfer Protocol

ICMP – Internet Control Message Protocol

IETF – Internet Engineering Task Force

IP – Internet Protocol

IRC – Internet Relay Chat

ISP – Internet Service Provider

LAN – Local Area Network

Path – Entende-se como o percurso que uma mensagem faz, quando sai do computador origem e chega ao computador destino

QoS – Qualidade de Serviço

RIPE NCC – Réseaux IP Européens Network Coordination Center

RTT – Do Inglês Round Trip Times, é o tempo necessário para que um pacote vá do computador A para o computador B e volte para o computador A

TCP – Transport Control Protocol

Telnet – Permite a um utilizador conectar-se com qualquer sistema remoto, onde possua uma conta

UCAID – University Corporation for Advanced Internet Development

URL – Uniform Resource Locator

WAN – Wide Area Network

WWW – World Wide Web

BIBLIOTECA F.E. PORTO

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000048997