

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Arquitectura do Laboratório de Redes Remoto:  
*eCassiopeia***

Paulo Jorge Marques Coelho

Licenciado em Engenharia Electrónica Industrial  
pela Universidade do Minho

*Dissertação submetida para satisfação parcial dos  
requisitos do grau de mestre em  
Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
(área de especialização de Telecomunicações)*

Porto, Dezembro de 2001



Esta dissertação foi realizada sob a supervisão do  
Professor Doutor Raúl Filipe Teixeira Oliveira,  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Resumo

Nesta dissertação, foi realizado um estudo sobre o estado da arte de laboratórios remotos e virtuais, para suportar o ensino à distância, na área da engenharia de redes de comunicação. Foram por isso estudados, numa primeira fase, os conceitos fundamentais inerentes ao ensino à distância baseado na *web* e, posteriormente, foram analisados vários laboratórios de redes remotos.

Com base nestas análises, foi proposta uma arquitectura de um laboratório de redes remoto, onde o termo "remoto" é utilizado com o objectivo de facilitar aos alunos e professores, através da Internet, o acesso a todas as funcionalidades e recursos de um laboratório de redes real, eliminando as barreiras temporais, geográficas e de espaço físico, que o laboratório convencional impõe.

Para demonstrar o seu funcionamento, foi desenvolvido um protótipo, com base nessa arquitectura, que permitiu testar os conceitos introduzidos. No entanto, o conceito definido na arquitectura é mais amplo e flexível do que a actual versão da implementação realizada.

**Palavras Chave:** Laboratório Remoto, Laboratório de Redes, Ensino à Distância.

# **TITLE: “NETWORK REMOTE LAB ARCHITECTURE: *eCASSIOPEIA*”**

## **Abstract**

In this thesis, a study about the situation of remote and virtual laboratories was done in order to support the distance learning as far as network engineering is concerned. In a first stage, the main concepts related to the on-line distance education were analysed, only then the several network remote labs.

According to the these facts, it was presented a structure of a network remote lab, where the word "remote" is used as a way to make things easier, both for students and teachers, through the net, to access to all the resources and functions of a network engineering lab, breaking all the time and geographical barriers and all the problems of physical space, that the traditional laboratory demands.

To show that it works, it was designed a model, based on this structure, which helped to test the previous concepts. However, the concept defined in this structure is more flexible than the today's application.

**Keywords:** Remote Laboratory, Network Laboratory, Distance Learning

## Agradecimentos

No culminar do curso de mestrado em engenharia electrotécnica e de computadores - área de especialização de telecomunicações, queria deixar expressos os meus agradecimentos a todas as pessoas que, de uma forma mais ou menos interveniente, tornaram possível a realização desta dissertação, em particular:

A todos os meus colegas da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, pelo apoio e colaboração prestados em diferentes momentos.

Ao Nuno Dantas e à Eng<sup>a</sup> Ana Machado, pelo apoio técnico prestado no laboratório de redes, durante o desenvolvimento do protótipo.

À Sandra, minha esposa, pelo apoio permanente e incondicional.

Ao Prof. Dr<sup>o</sup> Raúl Oliveira, meu orientador, por ter acreditado e incentivado esta ideia e por continuar a manter este projecto activo e no caminho certo.

# Índice

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumo.....                                                                   | iii       |
| Abstract.....                                                                 | iv        |
| Lista de figuras.....                                                         | ix        |
| Lista de tabelas.....                                                         | x         |
| Lista de abreviaturas.....                                                    | xi        |
| Glossário .....                                                               | xiii      |
| <b>1. Introdução .....</b>                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 Contexto .....                                                            | 1         |
| 1.2 Objectivos .....                                                          | 2         |
| 1.3 Organização da dissertação .....                                          | 3         |
| 1.4 Principais contribuições .....                                            | 4         |
| <b>2. Ensino baseado na web .....</b>                                         | <b>5</b>  |
| 2.1 Introdução.....                                                           | 5         |
| 2.2 Ensino à distância/distribuído .....                                      | 5         |
| 2.2.1 Relação temporal entre tecnologias de suporte.....                      | 7         |
| 2.2.2 Ferramentas de comunicação assíncronas e síncronas.....                 | 7         |
| 2.2.3 Ambientes integrados de EaD.....                                        | 9         |
| 2.2.4 Universidades Virtuais.....                                             | 10        |
| 2.2.5 Laboratórios virtuais vs. laboratórios remotos.....                     | 11        |
| 2.2.6 Barreiras à adopção do ensino baseado na web .....                      | 12        |
| 2.3 Laboratórios à distância: Estado da arte.....                             | 13        |
| 2.3.1 Laboratórios remotos para suporte à investigação na área das redes..... | 13        |
| 2.3.2 Laboratórios remotos para o ensino e formação na área das redes.....    | 15        |
| 2.3.3 Perspectivas para o futuro dos laboratórios de redes remotos .....      | 17        |
| 2.4 Conclusões do capítulo.....                                               | 18        |
| <b>3. Laboratório remoto: eCassiopeia.....</b>                                | <b>19</b> |
| 3.1 Introdução.....                                                           | 19        |
| 3.2 Descrição geral do laboratório .....                                      | 20        |
| 3.2.1 Objectivos do laboratório.....                                          | 21        |
| 3.2.2 Potenciais utilizadores .....                                           | 21        |
| 3.3 Arquitectura e módulos funcionais .....                                   | 22        |

|       |                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4   | <i>Infra-estrutura da rede do laboratório</i> .....              | 23 |
| 3.4.1 | Endereçamento do Laboratório <i>Cassiopeia</i> .....             | 23 |
| 3.4.2 | Módulos de Equipamento (MDE).....                                | 24 |
| 3.4.3 | Ligação ao exterior .....                                        | 25 |
| 3.4.4 | Serviços IP de suporte.....                                      | 27 |
| 3.4.5 | Manipulação das topologias de rede .....                         | 28 |
| 3.4.6 | Segmentação da rede para acesso remoto, usando VLANs .....       | 30 |
| 3.4.7 | Alternativas à topologia por defeito.....                        | 31 |
| 3.4.8 | Servidor de configuração .....                                   | 32 |
| 3.5   | <i>Acesso remoto</i> .....                                       | 32 |
| 3.5.1 | Servidor de consolas combinado com servidor de terminais.....    | 32 |
| 3.5.2 | Principais características do servidor de consolas .....         | 33 |
| 3.5.3 | Segurança e controlo de acessos .....                            | 34 |
| 3.5.4 | Filtro de pacotes: <i>iptables</i> .....                         | 35 |
| 3.5.5 | <i>Telnet</i> ou <i>SSH</i> ? .....                              | 37 |
| 3.5.6 | Autenticação dos utilizadores .....                              | 37 |
| 3.6   | <i>Gestão do laboratório</i> .....                               | 38 |
| 3.6.1 | Servidor <i>Web apache</i> .....                                 | 38 |
| 3.6.2 | Controlo de acessos.....                                         | 39 |
| 3.6.3 | Agenda .....                                                     | 39 |
| 3.6.4 | Gestão de configuração.....                                      | 41 |
| 3.6.5 | Servidor de configuração .....                                   | 42 |
| 3.6.6 | Gestão da rede de ensino.....                                    | 43 |
| 3.7   | <i>Ambiente de apoio web</i> .....                               | 43 |
| 3.7.1 | Modelo Conceptual .....                                          | 44 |
| 3.7.2 | Tipos de acessos à aplicação.....                                | 45 |
| 3.7.3 | Interacção dos alunos com a aplicação .....                      | 47 |
| 3.7.4 | Estrutura hierárquica dos exercícios .....                       | 50 |
| 3.7.5 | Metodologia para a realização dos exercícios .....               | 51 |
| 3.8   | <i>Conclusões do capítulo</i> .....                              | 51 |
| 4.    | <b>Implementação</b> .....                                       | 53 |
| 4.1   | <i>Introdução</i> .....                                          | 53 |
| 4.2   | <i>Ferramentas de software utilizadas</i> .....                  | 53 |
| 4.2.1 | Servidor http ( <i>Apache</i> , <i>MySQL</i> e <i>PHP</i> )..... | 54 |
| 4.2.2 | Servidor de consolas <i>conserver</i> .....                      | 55 |
| 4.3   | <i>Base de Dados de apoio ao laboratório</i> .....               | 56 |
| 4.3.1 | Projecto conceptual usando o modelo Entidade-Associação.....     | 56 |
| 4.3.2 | Esquema relacional correspondente.....                           | 58 |
| 4.3.3 | Projecto físico da base de dados .....                           | 59 |
| 4.4   | <i>Implementação do controlo de acessos</i> .....                | 60 |
| 4.4.1 | Serviço <i>Labkeeper</i> .....                                   | 60 |
| 4.4.2 | Autenticação do computador remoto .....                          | 65 |
| 4.5   | <i>Implementação do ambiente de apoio web</i> .....              | 67 |
| 4.5.1 | Exercício demonstração .....                                     | 67 |
| 4.5.2 | Interface da aplicação <i>cassiopeia@FEUP</i> .....              | 69 |

|                                             |                                    |           |
|---------------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 4.5.3                                       | Trabalhos em Grupo .....           | 79        |
| 4.6                                         | <i>Conclusão do capítulo</i> ..... | 82        |
| <b>5.</b>                                   | <b>Conclusão</b> .....             | <b>83</b> |
| 5.1                                         | <i>Trabalho futuro</i> .....       | 84        |
| <b>Anexo I - Dicionários de dados</b> ..... |                                    | <b>85</b> |
| <b>Referências</b> .....                    |                                    | <b>90</b> |

## Lista de figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1 - Visão geral sobre a estrutura do laboratório de redes remoto <i>eCassiopeia</i> .....                                                                                                                                                  | 20 |
| Figura 3.2 – Arquitectura do laboratório <i>eCassiopeia</i> .....                                                                                                                                                                                   | 23 |
| Figura 3.3 - Infra-estrutura da rede de ensino, com os módulos de equipamento: a)<br>Equipamentos de um MDE, ligados na topologia por defeito; b) Os seis <i>MDEs</i> do<br>laboratório <i>cassiopeia</i> , ligados numa topologia em estrela. .... | 25 |
| Figura 3.4 - Arquitectura de acesso baseada num <i>screening router</i> e num <i>firewall</i> . ....                                                                                                                                                | 27 |
| Figura 3.5 - Introdução de um painel repartidor automático na infra-estrutura de rede do<br>laboratório.....                                                                                                                                        | 29 |
| Figura 3.6 - Segmentação da rede para acesso remoto, usando VLANs. É de notar que o<br>MDE #2 não inclui um comutador de nível 2/3, porque este comutador só existe em<br>três bastidores. ....                                                     | 30 |
| Figura 3.7 – MDEs com equipamento específico, para realização de exercícios em ambiente<br>WAN.....                                                                                                                                                 | 31 |
| Figura 3.8 - Combinação do servidor de consolas com o servidor de terminais: a)<br>arquitectura física; b) arquitectura lógica .....                                                                                                                | 34 |
| Figura 3.9 - Arquitectura do módulo de gestão, com os vários componentes e suas<br>interligações.....                                                                                                                                               | 39 |
| Figura 3.10 - Estrutura das tabelas que se relacionam com a agenda.....                                                                                                                                                                             | 41 |
| Figura 3.11 - Diagrama de fluxos ilustrativo do registo de um aluno ( <i>adaptado de [4]</i> ). ....                                                                                                                                                | 46 |
| Figura 3.12 - Esquema das funções acessíveis na aplicação, de acordo com o tipo de<br>utilizador ( <i>adaptado de [4]</i> ).....                                                                                                                    | 47 |
| Figura 3.13 – Fluxo da interacção do aluno com a aplicação.....                                                                                                                                                                                     | 49 |
| Figura 3.14 –a) Hierarquia das entidades envolvidas numa disciplina. b) Exemplo de<br>reutilização de um módulo em duas disciplinas .....                                                                                                           | 50 |
| Figura 4.1 - Diagrama EA da base de dados do laboratório <i>eCassiopeia</i> .....                                                                                                                                                                   | 57 |
| Figura 4.2 - Execução do serviço Labkeeper pelo servidor apache, no início de um exercício. ....                                                                                                                                                    | 62 |
| Figura 4.3 Diagrama do serviço cliente/servidor labkeeper, via xinetd.....                                                                                                                                                                          | 64 |
| Figura 4.4 - Página inicial de acesso ao laboratório .....                                                                                                                                                                                          | 69 |
| Figura 4.5 - Catálogo de exercícios agendados e disponíveis.....                                                                                                                                                                                    | 70 |
| Figura 4.6 - Formulário para criação de novos exercícios.....                                                                                                                                                                                       | 71 |
| Figura 4.7 - Janela com a agenda do laboratório .....                                                                                                                                                                                               | 72 |
| Figura 4.8 - Pré-lab. Neste exercício integrou-se um <i>tutorial</i> com os conceitos teóricos e a<br>documentação necessários para a realização do exercício.....                                                                                  | 73 |
| Figura 4.9 - Janela com o enunciado do exercício ( <i>Lab</i> ).....                                                                                                                                                                                | 74 |
| Figura 4.10 - Consola do exercício.....                                                                                                                                                                                                             | 75 |
| Figura 4.11 - Acesso a uma consola <i>Linux</i> , através do servidor de consolas, no início do<br>exercício.....                                                                                                                                   | 76 |
| Figura 4.12 - Acesso à consola de um <i>router Cisco</i> , durante a realização do exercício.....                                                                                                                                                   | 77 |
| Figura 4.13 –Verificação do funcionamento do exercício, utilizando o <i>ping</i> e <i>traceroute</i> e o<br><i>reminder</i> a avisar que o tempo está a terminar. ....                                                                              | 78 |
| Figura 4.14 -Exemplo de utilização das consolas, em trabalhos de grupo. ....                                                                                                                                                                        | 79 |
| Figura 4.15 - Fórum de discussão integrado na aplicação .....                                                                                                                                                                                       | 81 |
| Figura 4.16 - <i>Quick Mail</i> integrado na aplicação.....                                                                                                                                                                                         | 81 |
| Figura 4.17 - <i>Chat</i> , integrado na aplicação <i>Cassiopeia@FEUP</i> . ....                                                                                                                                                                    | 82 |

## Lista de tabelas

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2-1 – Diferenças nos métodos de trabalho no ensino tradicional e no <i>ensino à distância</i> ... | 6  |
| Tabela 2-2 – Tipos de aplicações de comunicação síncronas e assíncronas, utilizadas no EaD. ....         | 8  |
| Tabela 3.1– Exemplo de regras genéricas para configuração do <i>firewall</i> .....                       | 36 |

## Lista de abreviaturas

|          |                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| ADSL     | <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>                               |
| ATM      | <i>Asynchronous Transfer Mode</i>                                       |
| CGI      | <i>Common Gateway Interface</i>                                         |
| CLI      | <i>Command Line Interface</i>                                           |
| CuSeeMe  | <i>Lê-se Ce You See Me</i>                                              |
| DHCP     | <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>                              |
| DiffServ | <i>Differentiated Services</i>                                          |
| DMZ      | <i>Demilitarized Zone</i>                                               |
| DNS      | <i>Domain Name Server</i>                                               |
| E.U.A.   | Estados Unidos da América                                               |
| EA       | Entidade-Associação                                                     |
| EaD      | Ensino-Aprendizagem à Distância (ou Distribuído).                       |
| FEUP     | Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto                        |
| FTP      | <i>File Transfer Protocol</i>                                           |
| HDLC     | <i>High-Level Data Link Control</i>                                     |
| HTML     | <i>HyperText Markup Language</i>                                        |
| HTTP     | <i>HyperText Transfer Protocol</i>                                      |
| ICMP     | <i>Internet Control Message Protocol</i>                                |
| IEL      | <i>Internet Engineering Lab</i>                                         |
| IETF     | <i>Internet Engineering Task Force</i>                                  |
| INRIA    | <i>Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique</i> |
| IP       | <i>Internet Protocol</i>                                                |
| IRC      | <i>Internet Relay Chat</i>                                              |
| ISP      | <i>Internet Service Provider</i>                                        |
| KVM      | <i>Keyboard Video Mouse</i>                                             |
| LAN      | <i>Local Area Network</i>                                               |
| Mbps     | <i>Megabits por segundo</i>                                             |
| MDE      | Módulo de Equipamento                                                   |
| MPLS     | <i>Multi Protocol Label Switching</i>                                   |
| NFS      | <i>Network File System</i>                                              |
| OSI      | <i>Open Systems Interconnection</i>                                     |
| PHP      | <i>Personal Home Page Tools</i>                                         |

---

|      |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| QoS  | Qualidade de Serviço                      |
| RDIS | Rede Digital Integrada de Serviços        |
| SGBD | Sistema de Gestão de Bases de Dados       |
| SMTP | <i>Simple Mail Transfer Protocol</i>      |
| SNMP | <i>Simple Network Management Protocol</i> |
| SQL  | <i>Structured Query Language</i>          |
| SSH  | <i>Secure Shell</i>                       |
| TCP  | <i>Transmission Control Protocol</i>      |
| TCP  | <i>Transmission Control Protocol</i>      |
| TFTP | <i>Trivial FTP</i>                        |
| UDP  | <i>User Datagram Protocol</i>             |
| URL  | <i>Uniform Resource Locator</i>           |
| VAT  | <i>Video Audio Tools</i>                  |
| VLAN | <i>Virtual LAN</i>                        |
| VoIP | <i>Voice over IP</i>                      |
| VPN  | <i>Virtual Private Network</i>            |
| VRML | <i>Virtual Reality Modeling Language</i>  |
| WAN  | <i>Wide Area Network</i>                  |
| WBT  | <i>Web Based Training</i>                 |
| WWW  | <i>World Wide Web</i>                     |

# Glossário

## ***Browser***

Ferramenta utilizada para ver ficheiros na World Wide Web, tipicamente em formato html (*HyperText Markup Language*).

## ***Chat***

Refere-se à utilização de ferramentas que permitem a conversação, por via de texto, entre indivíduos. Esta conversação decorre de forma síncrona, isto é, a emissão e a recepção ocorrem simultaneamente.

## ***e-learning***

Termo anglo-saxónico normalmente usado para referir o conceito que, neste âmbito, chamamos indiferenciadamente de "ensino à distância", EaD (*Ensino-Aprendizagem à Distância*), "aprendizagem à distância", "ensino distribuído", "ensino-aprendizagem à distância".

## ***e-mail***

Correio electrónico. Optou-se por não traduzir, dada a estandardização da utilização do termo na sua forma anglo-saxónica.

## **Fórum**

Ferramenta que permite a afixação, com carácter permanente e sequencial, de mensagens de texto (que, tipicamente, podem ser personalizadas ou anónimas) que ficam visíveis para todos os outros indivíduos. O acesso a um fórum pode ser restrito.

## **Grupos de discussão**

Refere-se à utilização de ferramentas que permitem a conversação, por via de texto, entre indivíduos. Esta conversação decorre de forma assíncrona, isto é, as mensagens são criadas e deixadas num repositório, denominado grupo de discussão, onde os interessados poderão, mais tarde, proceder à respectiva procura. Os grupos de discussão estão criteriosamente arrumados por temas e o acesso a todas as mensagens é livre.

## **HTML**

Formato típico em que são gravados os conteúdos visualizáveis nos *browsers* e mantidos na *World Wide Web*. Tem como aspecto mais característico a possibilidade de incluir *links* entre a restante informação.

## **Laboratório remoto**

Um laboratório real, mas que pode ser acedido através da Internet.

## ***Newsgroup***

O mesmo que grupo de discussão.

## ***World Wide Web***

Representa a componente da Internet dedicada ao suporte (e disponibilização) de informação mantida em formato *html*.

# Capítulo 1

## Introdução

---

### 1.1 Contexto

A engenharia de redes entrou numa nova era devido essencialmente ao crescimento exponencial da Internet e ao desenvolvimento de novas tecnologias de redes de alta velocidade [18]. Estas tecnologias estão a ser utilizadas em grande escala no suporte da nova sociedade de informação. De facto, tanto os técnicos como os engenheiros de redes de comunicação deparam-se com uma evolução muito rápida dos conceitos e das tecnologias de redes que precisam de dominar para aplicar às mais diversas situações práticas que encontram nas organizações. Isto obriga a uma actualização contínua.

O ensino da engenharia de redes constitui assim uma área de estudo em que os professores são frequentemente confrontados entre o ensino dos conceitos teóricos e a necessidade de transmitir informação prática, aos futuros engenheiros de redes, que envolva o estado da arte das novas tecnologias. Sendo o objectivo desta formação satisfazer os imperativos do mercado de trabalho, faz todo o sentido que os currículos na área de redes concentrem mais esforços na componente prática, sem no entanto descurarem a componente teórica. Para isso, é necessário criar laboratórios de redes, que facilitem o acesso a equipamentos de redes tecnologicamente avançados.

Portanto, disponibilizar laboratórios para o ensino da engenharia de redes tornou-se uma nova exigência. Para facilitar o seu acesso, surgiu a ideia de criar um laboratório de redes remoto, cujo principal objectivo é dar aos alunos a oportunidade de praticar e utilizar os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas de redes, através da realização de exercícios laboratoriais num ambiente real, mas sem as restrições de horários e de deslocações que o laboratório convencional impõe. Este laboratório remoto vai então facilitar aos alunos e professores um acesso controlado, através da Internet, a um conjunto de equipamentos e de *software* de redes para realização de exercícios laboratoriais.

É importante reter o relevo que este tipo de laboratório remoto encerra. Ele vai disponibilizar uma variedade de equipamento de "ensino", incluindo *routers*, *switches*, sistemas *Linux* e ferramentas de gestão de redes, que se encontram, neste caso particular, no laboratório de redes *Cassiopeia*<sup>1</sup>, de modo a que este possa ser utilizado localmente na FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) e remotamente a partir de qualquer lugar com acesso à Internet. Desta forma, os utilizadores do laboratório (alunos e professores) vão poder experimentar e configurar equipamento de redes bem como analisar os resultados produzidos pelas suas configurações, no local e à hora mais convenientes.

## 1.2 Objectivos

O laboratório de redes remoto tem como principal objectivo proporcionar aos alunos um ambiente real para suportar aulas práticas, à distância, na área das redes de computadores. Para alcançar este objectivo, é necessário estudar o estado da arte dos laboratórios remotos e, com base nesse estudo, conceber uma arquitectura avançada para o laboratório de redes remoto que permita expandir a sua utilização através da Internet. Para isso, é fundamental resolver determinadas questões técnicas, designadamente o acesso remoto, a segurança no acesso, a segmentação da rede de ensino para permitir vários exercícios em simultâneo, a possibilidade de realizar exercícios com topologias fixas pré-definidas e com topologias dinâmicas definidas a pedido, a reinicialização e configuração dos equipamentos antes de se começar um novo exercício, a reserva de recursos para a

---

<sup>1</sup> *Cassiopeia* é o nome do laboratório de redes existente no Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Tal como a constelação tem 6 estrelas, o laboratório também é formado por 6 postos de trabalho, com bastidor e equipamentos próprios.

realização de exercícios e a concepção de um ambiente de apoio *web*, que auxilie a realização dos exercícios no laboratório e disponibilize ferramentas de comunicação colaborativa para a realização de trabalhos em grupo.

Finalmente, para validar a arquitectura desenvolvida, será construído um protótipo, com a implementação de alguns dos módulos funcionais definidos na arquitectura, que vai permitir testar o funcionamento do laboratório proposto.

## 1.3 Organização da dissertação

A dissertação estrutura-se em cinco capítulos. No capítulo 2, abordam-se as principais conceitos referentes à temática do ensino à distância baseado na *web* e distinguem-se os conceitos de laboratório remoto e de laboratório virtual. A segunda parte deste capítulo apresenta o resultado de um estudo efectuado sobre o estado da arte em termos das tecnologias de rede para suportar a investigação e o ensino à distância na área de redes.

Quanto ao capítulo 3, faz-se uma descrição geral do laboratório de redes remoto, contendo considerações sobre o público alvo. De seguida, apresenta-se a arquitectura desenvolvida para o laboratório de redes remoto, descrevendo com algum detalhe os módulos funcionais que a compõem e propondo o projecto conceptual para o ambiente de apoio *web*.

No capítulo 4, descrevem-se informações técnicas relativas ao protótipo, indicam-se as ferramentas utilizadas para a implementação do sistema e faz-se o projecto conceptual da base de dados. Mostram-se ainda exemplos do interface da aplicação e das ferramentas de comunicação colaborativa.

Para terminar, o capítulo 5 refere as principais conclusões retiradas e os possíveis desenvolvimentos para um trabalho futuro.

## 1.4 Principais contribuições

As principais contribuições desta dissertação podem ser sumariadas como:

- Recolha sistematizada de aplicações de laboratórios remotos aplicáveis na investigação e no ensino da engenharia de redes;
- Uniformização dos conceitos de laboratório virtual e de laboratório remoto, uma vez que os termos suscitam frequentemente dúvidas, por terem características muito semelhantes;
- Introdução do conceito de topologia de rede a pedido, com o respectivo *hardware* associado;
- Criação de um novo modelo de laboratório de redes remoto, proporcionando uma visão mais prática do ensino das redes, que permite a realização de exercícios remotos, inclusive em grupos.

## Capítulo 2

# Ensino baseado na *web*

---

## 2.1 Introdução

Neste capítulo, faz-se uma introdução aos conceitos envolvidos no ensino à distância baseado na *web*. Comparam-se, primeiramente, as metodologias utilizadas no ensino presencial tradicional com o modelo de ensino à distância. De seguida, descrevem-se as principais tecnologias que estão a ser utilizadas para suportar o ensino à distância e distinguem-se dois conceitos: o laboratório virtual e o laboratório remoto.

Expõe-se, por fim, o resultado de um estudo realizado sobre o estado da arte em termos de laboratórios de redes remotos, com características similares às do modelo proposto neste trabalho, de forma a que fique clara a sua contribuição.

## 2.2 Ensino à distância/distribuído

O "*e-learning*", "*e-training*", "ensino à distância", "EaD", "aprendizagem à distância", "formação à distância", "ensino distribuído", "ensino baseado na *web*", "ensino *online*", ... é algo cuja definição, à semelhança da designação, não é propriamente consensual. Estamos a falar de conceitos, plataformas, técnicas, que ainda estão a tentar encontrar-se [19].

Além disso, é importante compreender que *e-learning* não é, apenas, ensino à distância. Isso, já os antigos cursos por correspondência o faziam. Também não é, simplesmente formação *on-line*, algo já disseminado em várias universidades e empresas

um pouco por todo o mundo. Pela sua natureza, formação é diferente de educação, pois a primeira envolve objectivos de aprendizagem para uma tarefa e actividades específicas. Em contraste, a educação é mais orientada para conceitos generalistas e para conhecimento abstrato, que pode ou não ser aplicado a tarefas ou acções específicas. Disto pode deduzir-se que *e-learning* não é *e-training*. É, todavia, uma nova pedagogia, onde o ensino e a aprendizagem têm o seu foco no monitor do computador e no novo papel desempenhado pelos professores.

O *e-learning* possibilita a transferência de tecnologia e de conhecimento através da Internet, utilizando para isso um ou mais formatos electrónicos, normalmente baseados na *web*. As formas mais simples constam na utilização de tecnologias que entretanto se tornaram triviais, como a colocação de conteúdos em páginas *html*, a utilização do *e-mail*; a utilização de IRC (*Internet Relay Chat*),... até chegar a sistemas mais complexos como a videoconferência, a audioconferência e os laboratórios remotos e virtuais. A utilização de uma combinação de algumas destas ferramentas pode ser tudo o que é preciso em termos tecnológicos para realizar *e-learning*.

O *e-learning* surge assim como uma forma inovadora de ensino à distância, na medida em que, permite o acesso a recursos remotos de uma forma transparente e estimula a interactividade dos alunos, que não têm tempo ou disponibilidade para frequentar o ensino presencial tradicional. Com efeito, o modelo de ensino tradicional, cuja base incide essencialmente no objecto do conhecimento, está a ser gradualmente substituído por um modelo construtivo que coloca o aluno no centro do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que este passa a ser um elemento mais activo. Essa transição reflecte-se em quase todos os ambientes de ensino baseados na *web*, desenvolvidos recentemente. Em tais ambientes, presume-se que a aprendizagem é um processo de construção, no qual os alunos devem ser os principais responsáveis pela sua aprendizagem.

Tabela 2-1 – Diferenças nos métodos de trabalho no ensino tradicional e no ensino à distância

|                   | MODELO DE ENSINO TRADICIONAL | MODELO DE ENSINO À DISTÂNCIA                                    |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Conteúdos         | informação                   | interacção e actividade                                         |
| Professor         | fonte de conhecimentos       | mediador                                                        |
| Turma             | destinatários                | comunidade virtual                                              |
| Aluno             | destinatário pouco activo    | participante activo                                             |
| Local de trabalho | sala de aula / laboratório   | sala de aula virtual / laboratório virtual / laboratório remoto |

### 2.2.1 Relação temporal entre tecnologias de suporte

Os métodos de ensino adoptados no ensino à distância podem ser classificados, de acordo com o modo como é feita a interacção humana no tempo, isto é, em modelos síncronos e assíncronos. Cada um destes modelos possui vantagens e inconvenientes. O primeiro modelo refere-se a sistemas onde os alunos e o professor interagem em tempo real, na maior parte das vezes a uma hora pré-estabelecida. Essa interacção é normalmente conseguida através de ferramentas de comunicação multimédia, que possibilitam trabalho colaborativo. Quanto ao modelo assíncrono, refere-se a sistemas onde a interacção ocorre em qualquer altura e a pedido do interveniente, sem uma agenda pré-definida. Este modo de interacção liberta o aluno da ansiedade que está inevitavelmente associada com o estudo em grupo e com o modo síncrono, permitindo-lhe rever o material as vezes que achar necessárias até se sentir confiante para se propor a um teste e assim ir avançando no curso, ao seu próprio ritmo.

### 2.2.2 Ferramentas de comunicação assíncronas e síncronas

Em termos de ferramentas informáticas, são exemplos de soluções assíncronas o correio electrónico, os fóruns de discussão, a disponibilização de conteúdos em páginas html e a transferência de ficheiros. O *chat* (IRC) e a videoconferência são exemplos de soluções síncronas. Existem ainda sistemas que incentivam ambos os modos de interacção, combinando ferramentas síncronas e assíncronas numa solução híbrida.

As ferramentas utilizadas no método assíncrono não implicam restrições temporais. Do ponto de vista da rede, estas aplicações são pouco exigentes, pois não colocam grandes requisitos de largura de banda, nem de parâmetros específicos de QoS (Qualidade de Serviço). Os exemplos mais populares destas ferramentas são efectivamente o correio electrónico e os fóruns de discussão. Estas aplicações caracterizam o modo assíncrono de comunicação, pelo facto de não exigirem que os intervenientes estejam a utilizar a rede em simultâneo. Quanto aos fóruns de discussão, estes fornecem capacidades similares às dos grupos de discussão (*newsgroups*), a todos os participantes do fórum. Usam o conceito de “conferência electrónica” para implementar listas de correspondência onde as mensagens são apresentadas de uma forma hierárquica e por assunto. Têm ainda a vantagem de as mensagens ficarem armazenadas e poderem ser acedidas posteriormente por alunos completamente alheios à discussão original, representando assim um guia útil para o *auto-estudo*.

Nas áreas de engenharia, uma possível utilização das ferramentas assíncronas poderá ser a possibilidade de os alunos estabelecerem comunicação *peer-to-peer*<sup>2</sup> para discussão dos trabalhos de casa, colaboração nos exercícios laboratoriais ou realização de trabalhos de grupo.

Tabela 2-2 – Tipos de aplicações de comunicação síncronas e assíncronas, utilizadas no EaD.

| APLICAÇÕES SÍNCRONAS                                    | APLICAÇÕES ASSÍNCRONAS                     |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>Chat</i>                                             | Correio electrónico                        |
| Audioconferência e sistema <i>mão-no-ar</i> electrónico | Fóruns de discussão                        |
| Quadro branco partilhado                                | Páginas HTML                               |
| Aplicações partilhadas                                  | Transferência de ficheiros                 |
| Videoconferência                                        | <i>Streaming</i> de vídeo e áudio a pedido |

Existem, contudo, situações em que o ensino da engenharia envolve, por exemplo, discussões em torno da análise de diagramas, da análise de código de software ou ainda da implementação de projectos. Nestas situações, as ferramentas utilizadas para a comunicação devem suportar preferencialmente interacção em tempo real, para facilitar uma compreensão mais rápida do problema. Assim se explica o facto de os ambientes de ensino à distância também suportarem métodos de aprendizagem síncronos. Outro exemplo caracterizador das tecnologias síncronas pode ser o das aplicações de conferência multimédia *vat e vic*, utilizadas no *Mbone*<sup>3</sup> para transmissão *multicast*. O *vat* (*visual audio tool*) é uma aplicação de audioconferência que suporta múltiplos canais de voz entre os participantes. A aplicação mostra os participantes activos na conferência, através do seu endereço de *e-mail*, e pode ser usada em conferências ponto-a-ponto ou ponto-multiponto em redes LAN ou WAN, incluindo a Internet, uma vez que utiliza o TCP/IP como protocolo de transporte [7]. A principal desvantagem desta ferramenta, tal como acontece com outras ferramentas similares de audioconferência disponíveis actualmente, é a impossibilidade de direccionar o áudio apenas para um participante ou para um grupo restrito de participantes na conferência. A componente de vídeo é gerida pela aplicação *vic*, que permite transmitir e receber vídeo em tempo real através da Internet/Intranet.

<sup>2</sup> *Peer-to-peer* refere-se a uma tecnologia de comunicação entre computadores, que altera significativamente o paradigma cliente-servidor, uma vez que a troca de informação passa a ser feita directamente entre os PCs dos utilizadores, possibilitando por exemplo a partilha de ficheiros sem passar por servidores centrais.

<sup>3</sup> O *Mbone* (*Internet Multicast backbone*) consiste num conjunto de *routers* que suportam *IP multicasting* e que estão configurados para encaminhar tráfego *multicast* através da Internet. O *Mbone* tem vindo a ser utilizado para transmitir teleconferências em áudio e vídeo e pode também ser utilizado por aplicações de *e-learning* que utilizem *multicasting*.

Os *streams* de vídeo podem ser enviados, utilizando o modo de transmissão ponto-a-ponto ou ponto-multiponto. Na transmissão multiponto, recorre-se à técnica de IP *multicasting*<sup>4</sup> para distribuir os pacotes de vídeo pela rede, de uma forma eficiente. Existem soluções de videoconferência que também podem ser utilizadas no EaD e que integram vários componentes, tais como o áudio, o vídeo, o quadro branco partilhado e a transferência de ficheiros. Como exemplos destas aplicações, citam-se o *CuSeeMe*, o *Netmeeting* ou o *ivs* (INRIA *Video-conferencing System*), este último também com suporte *multicast*.

Uma questão importante, que deve ser colocada antes de se partir para a implementação de um sistema de EaD, prende-se com a decisão a tomar na escolha do modo de interacção e das ferramentas a utilizar para distribuir o ensino à distância nas áreas da engenharia. Poderá parecer à primeira vista que o modo síncrono é sempre preferível ao modo assíncrono devido à menor *latência* que introduz na comunicação, mas, na realidade, isto depende da natureza do assunto em questão. Por exemplo, uma discussão num fórum, sobre um problema específico proposto por um professor, pode ser mais proveitosa do que assistir a uma sessão por videoconferência sobre o mesmo assunto. Portanto, as ferramentas síncronas são mais exigentes em termos de largura de banda e mais sensíveis a atrasos introduzidos pela rede, pelo que devem ser evitadas, sempre que não sejam necessárias.

### 2.2.3 Ambientes integrados de EaD

A selecção das tecnologias utilizadas para o suporte e criação dos cursos à distância, via Internet, podem seguir duas abordagens. A abordagem mais simples consta na utilização das técnicas que, entretanto, se tornaram triviais, como a colocação de conteúdos em páginas *html*, a utilização do *e-mail*, de fóruns de discussão, de uma ferramenta de IRC ou de videoconferência. A combinação de algumas destas ferramentas pode ser tudo o que é necessário em termos tecnológicos para realizar EaD. Um cenário tecnológico deste tipo apresenta-se como uma abordagem não integrada, uma vez que não existe relação entre as ferramentas usadas (*browsers*, clientes de *e-mail*, IRC, etc.).

Existe uma alternativa a este cenário, que consiste no recurso aos denominados ambientes de *Web-Based Training* (WBT) ou *plataformas de EaD*. São aplicações que

---

<sup>4</sup> IP *Multicasting* é uma técnica de endereçar pacotes em redes IP para um grupo de receptores ( no endereço *multicast* ) em vez de um único receptor ( no endereço *unicast* ). Ajuda a controlar o tráfego na rede e reduz o consumo de largura de banda.

agregam as funcionalidades equivalentes às disponibilizadas pelas ferramentas convencionais (disponibilização de conteúdos, hiperligações, partilha e transferência de ficheiros, *e-mail*, *chat*, etc.), que passam a funcionar de forma integrada. Estas plataformas incluem ainda, tipicamente, funcionalidades de grande utilidade para o processo de ensino-aprendizagem, como a monitorização das actividades dos alunos e professores, a avaliação, a criação de perfis de utilizador, etc. Relativamente ao modo de interacção, a maioria das plataformas são híbridas, uma vez que suportam ambos os modos de interacção síncrono e assíncrono.

Contudo, o modo assíncrono é o mais popular e o que está a ser usado mais extensivamente, devido ao facto de não exigir periféricos de comunicação adicionais, bastando normalmente utilizar um *web browser* e, principalmente, por não implicar constrangimentos temporais. Não nos devemos esquecer que os principais interessados em frequentar cursos de EaD são pessoas que não têm tempo para frequentar o ensino presencial normal e, por conseguinte, procuram um sistema de ensino que lhes garanta total flexibilidade de horário, o que só é possível no modelo assíncrono.

Como exemplos de plataformas de EaD, pode-se mencionar o *FORMARE* (PT Inovação) [24], o *Centra Symposium (Centra)* [22], o *Lotus LearningSpace* (IBM) [26], o *TopClass (WBT Systems)* [37] e o *WebCT* [38] que foi desenvolvido numa universidade do Canadá. Actualmente, já existe uma grande oferta de soluções comerciais deste tipo e outras estarão a ser desenvolvidas, a avaliar pelo número de resultados obtidos nas pesquisas efectuadas nesta área.

#### 2.2.4 Universidades Virtuais

A percepção de que o ensino à distância não necessita de um *campus* físico deu origem às universidades virtuais. O termo virtual indica que a universidade pode ou não ter um *campus* universitário. Estas universidades ou academias oferecem cursos completos que são distribuídos *on-line*. Na maioria dos casos, estas universidades emergiram com o objectivo de se tornarem uma alternativa às universidades convencionais, oferecendo cursos equivalentes, ainda que em Portugal não confirmem grau académico reconhecido pelo Ministério da Educação. Numa tentativa de superar este problema várias empresas privadas de *e-learning* associaram-se em parcerias estratégicas com instituições de ensino superior para fornecerem cursos à distância com certificados de qualidade. Seja como for, o

conceito de *campus* virtual só terá sucesso se os alunos e professores mantiverem uma interacção adequada e se a qualidade for uma prioridade tal como a quantidade.

### 2.2.5 Laboratórios virtuais vs. laboratórios remotos

As aulas práticas laboratoriais são um componente essencial na maioria dos currículos dos cursos de engenharia. A forma tradicional de realizar exercícios laboratoriais obriga os alunos a deslocarem-se até à instituição de ensino, para terem acesso ao laboratório local. Uma vez no laboratório, os alunos trabalham em grupos ou individualmente e têm normalmente a ajuda de um professor. Apesar de continuarem a proporcionar o melhor ambiente para realização das aulas práticas [17], os laboratórios locais não permitem ser explorados da forma mais eficiente, nem estão adaptados ao ensino à distância.

Recentemente, surgiram dois conceitos de laboratórios que se destinam a suportar o ensino à distância através da Internet: o laboratório virtual e o laboratório remoto. O primeiro destina-se a simular as funções essenciais de uma experiência laboratorial num computador. Neste cenário, as experiências laboratoriais são substituídas por modelos computacionais com base em *software* de simulação [1]. Recentemente, emergiram na *world wide web* muitos laboratórios deste tipo em formatos *Java*, *VRML* (*Virtual Reality Modeling Language*) ou *Shock-wave* que emulam quase sempre simulações de experiências laboratoriais, de uma forma pouco realista. O conhecimento apreendido pelo aluno num ambiente deste tipo depende principalmente da autenticidade, dos constrangimentos e das capacidades do *software* de simulação. Estas restrições, impostas pelo *software* de simulação, limitam assim a criatividade do aluno na medida em que o inibem de realizar experiências reais.

Em alternativa, as experiências laboratoriais podem ser controladas directamente pela manipulação de equipamento real em laboratórios convencionais. Estes laboratórios remotos fornecem um ambiente sem restrições, onde as experiências são conduzidas remotamente, através da Internet. A implementação deste tipo de laboratórios é tecnologicamente possível em várias áreas das ciências e engenharias, havendo já um número interessante de casos de estudo, especialmente em áreas como a química, física, robótica, electrónica e redes de computadores.

De uma forma geral, os laboratórios remotos facilitam o processo de ensino-aprendizagem e têm um papel fundamental no ensino de disciplinas técnicas. No caso particular da engenharia de redes de comunicação, estes laboratórios fornecem oportunidades para criar verdadeiros ambientes de ensino e constituem uma ferramenta essencial para os alunos adquirirem prática na resolução de problemas e na manipulação e configuração de equipamentos de redes.

### **2.2.6 Barreiras à adopção do ensino baseado na *web***

Apesar do enorme desenvolvimento e aparente sucesso que o conceito de ensino baseado na *web* está a ter, verifica-se todavia a existência de alguns factores, que podem fazer com que a tecnologia demore algum tempo a ter o impacto desejado pelos profissionais do sector.

Um dos factores tem a ver com os atrasos provocados pela rede na entrega dos pacotes [10], pois a maioria dos acessos à Internet são realizados através de linhas telefónicas analógicas, onde a velocidade média da transmissão dos dados não é adequada para as aplicações de EaD, especialmente quando se trata da visualização de conteúdos multimédia ou teleconferências de áudio e vídeo em tempo real. Os fluxos de áudio e vídeo requerem normalmente uma largura de banda maior do que a proporcionada pelos modems V.90 que operam sobre as linhas telefónicas normais. Mesmo utilizando tecnologias que minimizem estes problemas na rede Internet como por exemplo *multicasting* e QoS, mantém-se contudo o problema da largura de banda na rede de acesso que liga a maioria dos utilizadores à Internet e que só será resolvida com a instalação de tecnologias de acesso de banda larga residencial, como ADSL ou *cable modem*.

Outro factor reside no facto de os conteúdos educativos por vezes serem pouco interactivos, por serem baseados em ficheiros de texto ou páginas HTML. Com efeito, se os conteúdos não forem pedagogicamente ricos e apelativos, corre-se o risco de provocar a desistência dos alunos deste tipo de aprendizagem.

Constata-se que nas plataformas de EaD ainda não estão capacitadas para a transmissão dos conhecimentos práticos exigidos em muitas disciplinas, especialmente nas áreas das engenharias em que é necessário complementar as aulas teóricas com uma componente laboratorial. Esta situação não favorece uma compreensão adequada dos conceitos e das suas aplicações práticas.

Para que o ensino baseado na *web* seja um complemento ou mesmo uma alternativa credível ao ensino presencial tradicional, há que desenvolver soluções que facilitem experiências práticas baseadas na *web* e que vão para além daquilo que as plataformas comerciais de *e-learning* oferecem actualmente. Essas soluções são tecnologicamente possíveis de implementar e poderão dar um contributo importante para a melhoria do ensino presencial e à distância, complementando a componente laboratorial.

## 2.3 Laboratórios à distância: Estado da arte

Esta secção apresenta o estado da arte dos laboratórios de redes, acessíveis via Internet. São analisados dois casos de laboratórios que foram desenvolvidos com o objectivo de servirem de suporte à investigação na área das redes e duas soluções de laboratórios de redes remotos, voltados para o objectivo da formação profissional e do ensino.

### 2.3.1 Laboratórios remotos para suporte à investigação na área das redes.

É necessário um esforço de investigação para compreender os novos protocolos e os novos paradigmas como QoS nas redes IP que cobrem vários domínios tais como a estatística, o controlo, a teoria das probabilidades e as filas de espera aplicadas às redes. A investigação nestas áreas está a desenvolver-se muito rapidamente tanto nos meios académicos como nos fabricantes e nos operadores de telecomunicações.

Recentemente, surgiram vários laboratórios remotos nos E.U.A e na Europa, que estão a ser desenvolvidos por universidades em parceria com fabricantes de equipamento. O principal objectivo destes laboratórios é permitir juntar sinergias entre os intervenientes, através da troca de ideias, avaliação e transferência de tecnologia e conhecimento.

#### Laboratório virtual de próxima geração

Um exemplo do conceito de laboratório remoto para suporte à investigação é o “Laboratório virtual de próxima geração” [8], criado pela *Alcatel* e pela *Universidade Estadual da Carolina do Norte* (NCSU). Este laboratório, desenvolvido no âmbito do

projecto *Internet2*<sup>5</sup>, destina-se a dar suporte à investigação na área da qualidade de serviço em redes IP, através de simulações e testes realizados em equipamentos reais. Para suportar comunicação colaborativa entre os investigadores no laboratório, este inclui: soluções de videoconferência baseadas em *codecs* de áudio e vídeo MPEG2 (3-15 Mbps) e H.323 (64 Kbps–1,5 Mbps), voz sobre IP (H.323) e um conjunto de ferramentas de comunicação síncronas e assíncronas. Relativamente à infra-estrutura, o laboratório é composto por um conjunto de estações de trabalho formando “núvens” para encaminhamento *Diffserv* e MPLS, e por um conjunto de *routers* que são acedidos remotamente para experiências de QoS e um conjunto de aplicações Internet2. A monitorização da rede integra um conjunto de ferramentas para medição da performance, geração de tráfego e ferramentas de modelação de tráfego.

### Internet Engineering Lab

O IEL (*Internet Engineering Lab*) é um laboratório de redes avançado, desenvolvido numa universidade do Canadá, que tem como principal objectivo proporcionar um ambiente para a investigação e desenvolvimento na área das tecnologias de redes. A arquitectura do laboratório facilita aos utilizadores um ambiente de teste para as tecnologias de rede ao nível da camada 3 do IP, centrando-se nas seguintes áreas: políticas de *routing*, qualidade de serviço, análise da performance da rede e segurança [34].

A infra-estrutura da rede do laboratório concentra uma variedade de equipamentos incluindo *routers*, comutadores, servidores, geradores de tráfego e ferramentas de análise de redes. Os equipamentos encontram-se organizados em grupos e ligados numa topologia por defeito. As interligações entre os equipamentos são alteradas manualmente para criar os cenários de teste pretendidos. Todo o equipamento no laboratório é controlado por consolas na sala de operação que estão ligadas aos equipamentos através de comutadores KVM<sup>6</sup>. São também permitidas ligações por *telnet* aos equipamentos, através da rede *ethernet* e de ligações série. O acesso remoto ao laboratório é efectuado através de um sistema *firewall*/ VPN (*Virtual Private Network*). Este sistema permite garantir a segurança no acesso remoto e segmentar a rede de teste para os utilizadores que estão ligados

<sup>5</sup> O projecto Internet2 (<http://www.internet2.org>) é liderado por um consórcio que inclui 180 universidades norte americanas que trabalham em conjunto com parceiros da indústria e governo americano. Este projecto oferece recursos para uma nova família de aplicações e tecnologias avançadas de redes, que vão de encontro às necessidades de pesquisa e ensino.

<sup>6</sup> KVM (*Keyboard Video Mouse*) é um comutador que permite que uma ou mais estações de trabalho tenham acesso local ou remoto a vários computadores localizados em salas de servidores.

remotamente. Desta forma, múltiplos utilizadores podem estabelecer um túnel para o servidor VPN, mas cada utilizador individual apenas tem acesso à porção da rede destinada à sua sessão de teste.

Apesar de o IEL não ser apresentado como um laboratório de redes remoto, na sua concepção foi prevista a possibilidade de os utilizadores poderem operar o equipamento do laboratório remotamente, via ligações VPN. Esta característica faz deste laboratório, um bom exemplo do estado da arte em termos de laboratórios de redes remotos. Mais informações sobre este laboratório podem ser encontradas em <http://www.bcit.ca>.

### **2.3.2 Laboratórios remotos para o ensino e formação na área das redes**

Os profissionais de tecnologias de informação e de redes não têm falta de opções no que diz respeito aos cursos de formação *online*. Porém, estes cursos raramente oferecem a possibilidade de realizar experiências práticas através da *Web*. Para tentar colmatar esta lacuna, os vendedores de soluções de *e-learning* responderam primeiro com simulações *on-line* de *routers* e outros equipamentos de redes e, mais recentemente, com laboratórios remotos acessíveis via Internet.

#### **Vlab da mentorlabs**

A *Mentorlabs* é pioneira no fornecimento de soluções comerciais de laboratório remotos de redes [27]. Estes laboratórios disponibilizam equipamentos reais para formação, a que os formandos podem aceder e configurar usando apenas um *web browser*. Dependendo do tipo de exercício, podem ser utilizados vários equipamentos como *switches*, hardware para sistemas de voz sobre IP (VoIP), *routers*, equipamento RDIS e *frame Relay*. Os equipamentos encontram-se ligados em topologias por defeito, formando PODs (*Pool Of Devices*).

Esta solução, do ponto de vista funcional, está muito próxima da nossa abordagem para implementação do laboratório remoto, porque também facilita o acesso directo às consolas dos equipamentos. Embora seja interessante do ponto de vista técnico, a solução da *mentorlabs* tem alguns problemas do ponto de vista pedagógico, pois não inclui um ambiente paralelo de apoio aos alunos que permita por exemplo trabalho colaborativo. Com efeito, na versão testada, não foram encontradas ferramentas que permitissem auxiliar de forma colaborativa o aluno na realização do exercício ou no esclarecimento de dúvidas.

Outro aspecto condicionante encontra-se no facto do equipamento de ensino ser de um só fabricante (*Cisco*), não fornecendo portanto um ambiente heterogéneo para a realização dos exercícios laboratoriais, como seria desejável. Pois, um laboratório de redes para o ensino deve recriar cenários idênticos aos ambientes de rede das empresas, que são normalmente constituídos por soluções heterogéneas, de diversos fabricantes.

Os testes realizados neste laboratório foram efectuados no *site* <http://www.mentorlabs.com>. Depois de um registo prévio, foi possível seleccionar e realizar dois exercícios de demonstração que permitiram tirar as conclusões apresentadas.

### ***e-Learning na Cisco Systems***

A *Cisco Systems* também recorre ao *e-Learning* para a formação e preparação de candidatos às certificações do programa *Cisco Career Certifications* (CCC). O programa *Cisco Networking Academy* utiliza um sistema completo de *e-Learning* para fazer chegar formação na área de tecnologias de informação a instituições educacionais em todo o mundo. Através dos *Cisco Learning Partners*, os profissionais de tecnologias de informação têm acesso *on-line* a experiências práticas baseadas na *Web*, realizadas em laboratórios virtuais da *mentorlabs*.

### **Virtual Networking Engineering Lab**

O *VNELab* é um laboratório de redes virtual, construído com o objectivo de dar suporte a um curso de mestrado em engenharia de redes, numa universidade americana [36]. Neste projecto, foi utilizado o conceito de laboratório virtual<sup>7</sup> para expandir as funcionalidades de um laboratório de redes convencional. O laboratório desenvolvido suporta exercícios correspondentes às sete camadas do modelo de referência OSI. Para suportar todos os níveis desse modelo, a infra-estrutura do laboratório foi dividida em três áreas, com funcionalidades distintas:

- Sistemas embebidos - No sentido de abranger as camadas 1 e 2 do modelo OSI, esta funcionalidade oferece acesso directo ao *hardware*, aos analisadores e monitorizadores da rede. Inclui comutadores com capacidades VLAN (*Virtual LAN*) e computadores baseados em microprocessadores *Intel*, com características multimédia.

- Núcleo da rede - Com o objectivo de explorar os níveis 3 e 4 do modelo OSI, nesta área é dada menos ênfase ao nível físico da rede, mas permite-se em contrapartida o controlo directo dos equipamentos. Aqui, os alunos podem configurar e alterar sistemas operativos, *routers* e outros equipamentos de rede. O núcleo da rede é composto por sistemas com *dual-boot*, *routers*, *bridges* e comutadores ATM.
- Serviços de rede - Os sistemas que compõem esta área suportam as camadas 5 até à 7. Os alunos podem fazer experiências com servidores de rede (servidor de ficheiros, *web*, vídeo), comunicação *inter-processos* e sistemas distribuídos.

Fisicamente, as três áreas do laboratório estão distribuídas por duas salas. Contudo, com a implementação do laboratório virtual, tornou-se possível o acesso remoto às três áreas do laboratório.

O laboratório virtual foi implementado recorrendo a sistemas servidores, interfaces por *proxy* e sistemas de controlo para permitir aos alunos o acesso aos equipamentos de redes. Esta funcionalidade vai integrar partes das outras três áreas, mas instrumentadas de forma a que a presença física não seja necessária. O laboratório *VNELab* ainda se encontra em fase de desenvolvimento, estando apenas disponível uma página com informações relativas ao projecto [36].

### 2.3.3 Perspectivas para o futuro dos laboratórios de redes remotos

Desde há muito tempo que os departamentos de engenharia das instituições de ensino superior reconheceram a necessidade de ter laboratórios que possibilitem aos seus alunos a realização de experiências com o objectivo de explorar e aprofundar os conceitos introduzidos nas aulas teóricas. Em muitas áreas da engenharia, bem como na engenharia de redes de computadores, os laboratórios são mesmo essenciais no processo de ensino-aprendizagem [12]. Os alunos com uma preparação suficiente em aulas laboratoriais ganham, efectivamente, experiência e outra confiança para encararem com sucesso as suas actividades profissionais futuras. Porém, este reconhecimento não tem sido tão evidente nos cursos de EaD, tendo-se constatado que estes normalmente baseiam-se em conhecimentos mais teóricos e conceptuais. No entanto, o ensino à distância é uma realidade e a prova disso é que as instituições estão a investir cada vez mais recursos

---

<sup>7</sup> De notar que o conceito de laboratório virtual utilizado neste caso, não está de acordo com o que foi afirmado no ponto 2.2.5. Apesar de este laboratório ter sido designado de virtual, ele apresenta características de um laboratório remoto.

financeiros para aumentar a capacidade de oferta de cursos de EaD. A educação em engenharia é baseada em metodologias que utilizam o ensino da teoria e da prática, e o EaD, para poder ser aplicado com sucesso, tem que manter e melhorar esse modelo. Isso pode ser conseguido com a introdução de laboratórios remotos.

Actualmente, já é possível encontrar um número interessante de casos de laboratórios de redes remotos e virtuais. Contudo, em nenhum dos casos analisados se prevê a utilização de topologias de redes a pedido, que possibilitem aos alunos a construção do seu próprio ambiente de teste, para a realização das experiências no laboratório. É previsível e espera-se que, nos próximos anos, mais laboratórios de redes remotos venham a ser desenvolvidos e utilizados no ensino da engenharia de redes, contribuindo assim para a melhoria da qualidade do ensino.

## **2.4 Conclusões do capítulo**

Neste capítulo, fez-se uma síntese do estado-da-arte do ensino à distância. O desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação multimédia está a contribuir de forma decisiva para o desenvolvimento de novas plataformas de EaD que estão a revolucionar os métodos de ensino-aprendizagem tradicionais. Um novo passo em frente pode ser dado com o desenvolvimento de laboratórios remotos, uma vez que podem dar um contributo importante ao ensino à distância, suportando assim o ensino experimental, baseado em recursos. Por fim, foram apresentados alguns casos de estudo que ilustram os mais recentes desenvolvimentos em laboratórios remotos/virtuais destinados, por um lado, à investigação e, por outro lado, ao ensino da engenharia na área das redes. O próximo capítulo define a arquitectura de um laboratório de redes remoto que se enquadra precisamente no segundo contexto referido.

## Capítulo 3

# Laboratório remoto: *eCassiopeia*

---

### 3.1 Introdução

Este capítulo inicia com uma descrição geral do laboratório de redes remoto. Apresenta de seguida a arquitectura desenvolvida e os módulos funcionais que a compõem. Esta arquitectura combina a infra-estrutura do laboratório de redes *Cassiopeia* com outros componentes que adicionam novas funcionalidades para garantir o acesso remoto.

A inovação deste laboratório não é obviamente o facto de permitir acesso remoto, mas sim de disponibilizar vários tipos de equipamento e de prever a possibilidade de os utilizadores seleccionarem remotamente os equipamentos de ensino mais adequados para as suas experiências, organizando-os em topologias a pedido. Com efeito, os alunos acedem ao equipamento do laboratório através de um *web browser* e utilizam um laboratório real para realizar os exercícios pré-definidos, ou reservam equipamentos para construir novos exercícios. O ambiente do laboratório não apresenta riscos, uma vez que os alunos podem aprender por tentativa e erro, sem receios de desconfigurar os equipamentos ou causar danos na rede.

## 3.2 Descrição geral do laboratório

Os alunos dos cursos de engenharia electrónica ou de engenharia informática, podem beneficiar do laboratório remoto. Esta plataforma oferece aos alunos a oportunidade de realizarem experiências remotas em várias áreas das redes de computadores, utilizando equipamentos de redes sofisticados, semelhantes aos que existem nas empresas. Isto passa também por desenvolver um esforço no estabelecimento de parcerias com os fabricantes de equipamentos, no sentido de estes colaborarem com as instituições, nomeadamente no fornecimento de equipamentos.

O laboratório de redes remoto é composto pelos equipamentos de ensino, que se encontram no laboratório convencional, e por um ambiente paralelo de apoio aos utilizadores. Este ambiente é composto por uma aplicação modular, baseada na *web*.

Na Figura 3.1, observa-se de uma forma simplificada a estrutura do laboratório remoto *eCassiopeia*<sup>8</sup>. Esta estrutura é descrita detalhadamente nas secções seguintes, podendo-se ainda encontrar informações complementares em [6].

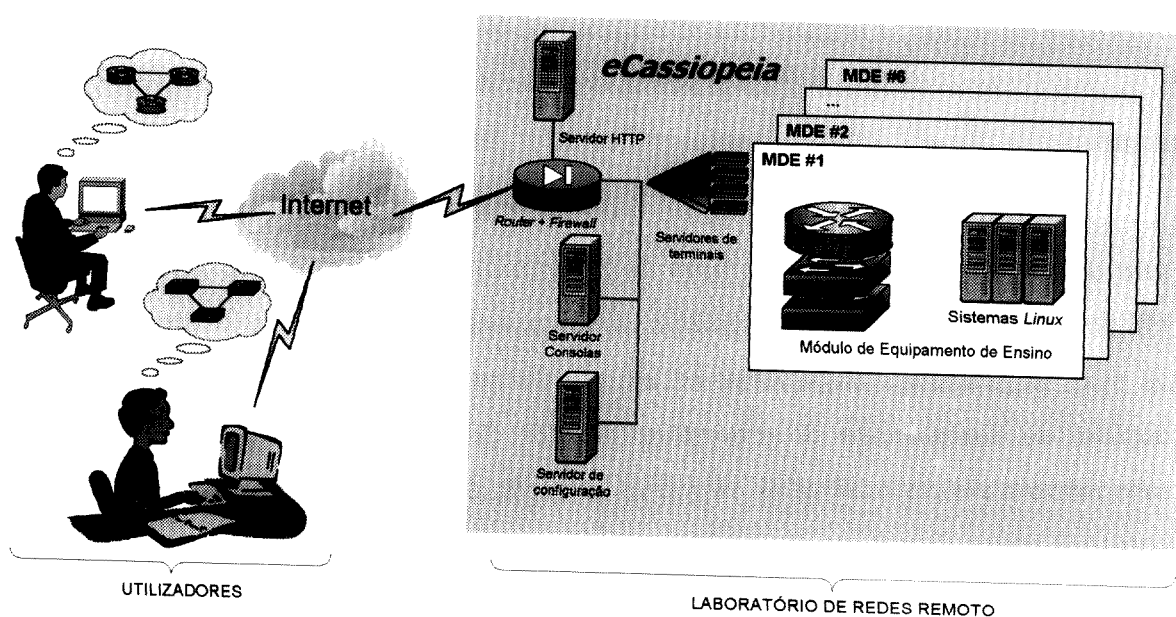


Figura 3.1 - Visão geral sobre a estrutura do laboratório de redes remoto *eCassiopeia*.

<sup>8</sup> *eCassiopeia* é o nome do laboratório de redes remoto desenvolvido neste trabalho.

### 3.2.1 Objectivos do laboratório

O laboratório de redes remoto tem como principal objectivo proporcionar aos alunos um ambiente real para práticas na área das redes IP. A configuração de *routers* para interligação LAN WAN, a configuração de *routers* em ambiente WAN, a configuração de serviços IP (*Internet Protocol*) aplicativos (SMTP, HTTP, NFS, *Proxy*, *Firewall*, DNS, DHCP) e a configuração de LANs, baseadas em tecnologias de nível 2 e 3, são alguns dos inúmeros exercícios realizáveis neste laboratório. O ambiente para as experiências consistirá, numa primeira fase, no nível 3 do protocolo IP, mas, à medida que o tempo e a experiência o permitam, vão ser exploradas outras camadas e outras tecnologias de rede.

### 3.2.2 Potenciais utilizadores

O laboratório de redes remoto pode ser utilizado em dois cenários distintos: como ferramenta de apoio para cursos presenciais, complementados por actividades na *Web* ou como ferramenta de suporte a cursos fornecidos totalmente via *Web*.

Para além dos alunos dos cursos de licenciatura e mestrado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), existem outros grupos de pessoas que podem estar potencialmente interessados em beneficiar do acesso remoto ao laboratório de redes, designadamente os alunos de outras escolas de ensino superior e os engenheiros e outros profissionais na área das redes.

Os primeiros poderão utilizar equipamento de redes especializado, que normalmente não têm disponível na sua escola. Este factor pode funcionar como alavanca para o intercâmbio com outras instituições de ensino superior, para partilhar equipamento e *Know-How* de redes.

O segundo grupo também poderá beneficiar da utilização do laboratório, com objectivos didácticos, para formação e actualização em novas tecnologias.

Numa primeira fase, vão ser envolvidos alunos de um curso de Informática da ESTV (Escola Superior de Tecnologia de Viseu), para testarem o protótipo desenvolvido. O último grupo de utilizadores não vai ser especificamente envolvido, mas representam uma possibilidade muito interessante que deve ser explorada mais tarde.

### 3.3 Arquitectura e módulos funcionais

A arquitectura do laboratório remoto *eCassiopeia* é composta por quatro módulos funcionais:

- **Infra-estrutura de rede** - representa a rede que suporta o laboratório remoto e os equipamentos de ensino. Existem dois tipos de rede: a rede de ensino e a rede de produção. A rede de ensino interliga os equipamentos de ensino, onde são feitas as experiências e a rede de produção faz a ligação entre os equipamentos de produção que dão suporte ao laboratório.
- **Gestão** - é o módulo centralizador da actividade de gestão do laboratório. Mantém activo um servidor HTTP que disponibiliza uma *interface* de gestão baseada em formulários *html*, processa os dados recebidos dos utilizadores, sob a forma de programas CGI (*Common Gateway Interface*) e sripts PHP (*Personal Home Page Tools*) , e executa as alterações pedidas nos sistemas envolvidos.
- **Acesso remoto** - facilita o acesso remoto aos equipamentos e à rede de ensino, através de sessões de *telnet* ou SSH (*Secure Shell*), directamente para as portas das consolas.
- **Ambiente de apoio web** - Constitui o ponto de acesso, via *browser*, dos utilizadores ao laboratório e, consequentemente, aos equipamentos de ensino. Integra ferramentas de comunicação síncrona e assíncrona que facilitam a comunicação entre os alunos e professores. No capítulo dedicado à implementação, apresentam-se vários exemplos de formulários que ilustram aspectos desta *interface*.

A Figura 3.2 apresenta a arquitectura do laboratório remoto *eCassiopeia*, mostrando as relações entre os vários módulos funcionais e os protocolos de comunicação utilizados. De seguida, faz-se uma descrição mais detalhada de cada um dos módulos.

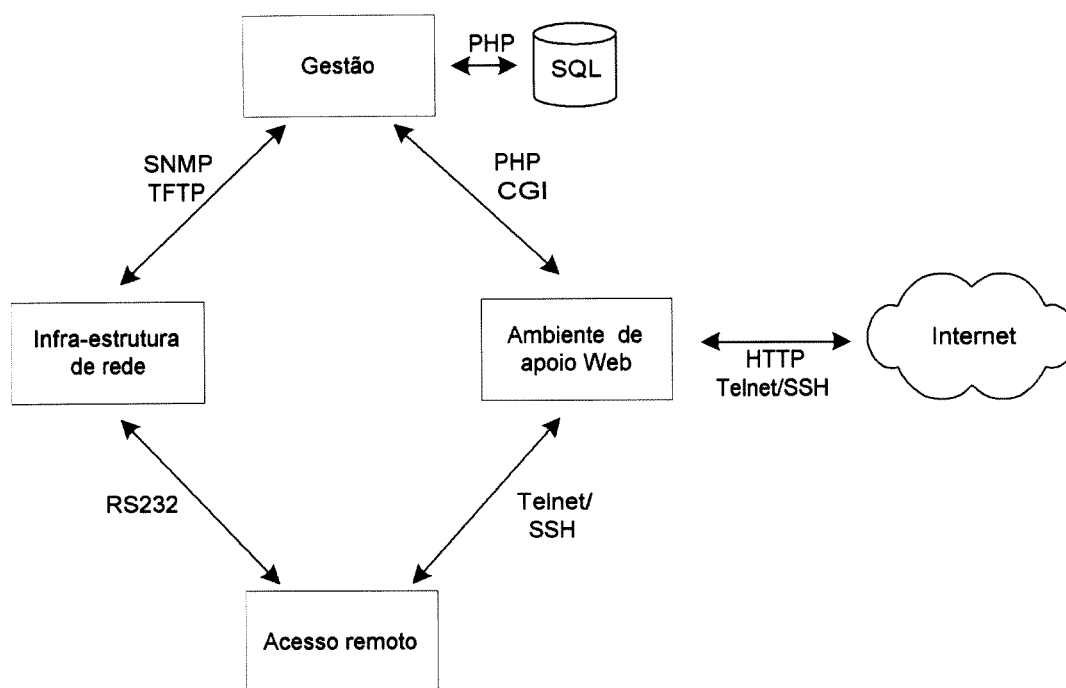


Figura 3.2 – Arquitectura do laboratório *eCassiopeia*.

## 3.4 Infra-estrutura da rede do laboratório

O laboratório de redes local (*Cassiopeia*) é constituído essencialmente por seis postos de trabalho. Cada um destes é formado por três computadores com sistema operativo *Linux* e por um bastidor com equipamentos próprios. Cada bastidor inclui um *router/switch*, um *switch*, um *HUB* e painéis de repartição. Existem ainda dois bastidores adicionais com equipamento específicos, designadamente três *routers* e três comutadores de nível 2/3.

### 3.4.1 Endereçamento do Laboratório *Cassiopeia*

O laboratório tem duas redes IP privadas: 192.168.103.0/24 e 172.16.1.0/24. As estações de trabalho configuráveis e todo o material de redes de ensino encontram-se na rede de ensino 172.16.1.0/24, enquanto que as estações de trabalho, que dão suporte à gestão do laboratório, e o material de rede de produção estão na rede de produção 192.168.103.0/24. O encaminhador entre as duas redes tem duas interfaces: 192.168.103.220 e 172.16.1.254. Para identificar as máquinas pelo nome, existe um sub-domínio de DNS (*Domain Name Server*) chamado *netlab.fe.up.pt*.

### 3.4.2 Módulos de Equipamento (MDE)

Com o objectivo de gerir mais facilmente os recursos do laboratório, estes vão ser organizados em MDEs, ligados numa topologia por defeito. Actualmente, a infra-estrutura da rede de ensino é composta por seis MDEs, correspondentes aos seis postos de trabalho já referidos.

A topologia por defeito dos módulos de equipamento é apresentada na Figura 3.3-a). Verifica-se assim que cada MDE é constituído por um grupo de equipamentos: um *router/switch* (RS) que faz comutação de nível 2 e 3; um comutador de nível 2, designado de *LAN Switch* (LS); três *hosts Linux* (HL), um *HUB* e ligações físicas (Ln). No MDE, um dos *hosts* tem dois interfaces de rede, podendo ser configurado como encaminhador entre as duas redes. Quanto às ligações físicas, estas são efectuadas através da cablagem estruturada do laboratório, que inclui ligações em fibra e cabos de par entrançado.

Os vários MDEs são interligados, numa topologia em estrela, a um comutador central (LS) (ver Figura 3.3-b). Este comutador central tem capacidades VLAN e permite segmentar a rede de ensino em várias redes virtuais. Desta forma, cada módulo de rede representa um único domínio, uma vez que se encontra numa rede virtual diferente.

A Figura 3.3 mostra a infra-estrutura da rede de ensino, sobre a qual se desenvolveu a arquitectura para o laboratório remoto *eCassiopeia*<sup>9</sup>. As interligações entre os componentes de um MDE podem ser alteradas ou adicionadas consoante as necessidades dos exercícios práticos, de forma a criar variações a esta topologia. Os exercícios práticos geralmente tentam recriar cenários de redes idênticos aos que se encontram nas empresas. A partir da topologia por defeito, é possível combinar equipamentos de vários MDEs, de forma a criar um ambiente similar ao de uma LAN de uma empresa ou de um ISP (*Internet Service Provider*), por exemplo.

---

<sup>9</sup> Foi escolhido o nome *eCassiopeia* para designar o laboratório remoto, uma vez que a topologia por defeito dos MDEs apresenta uma configuração semelhante à da constelação de estrelas Cassiopeia, em forma de W invertido.

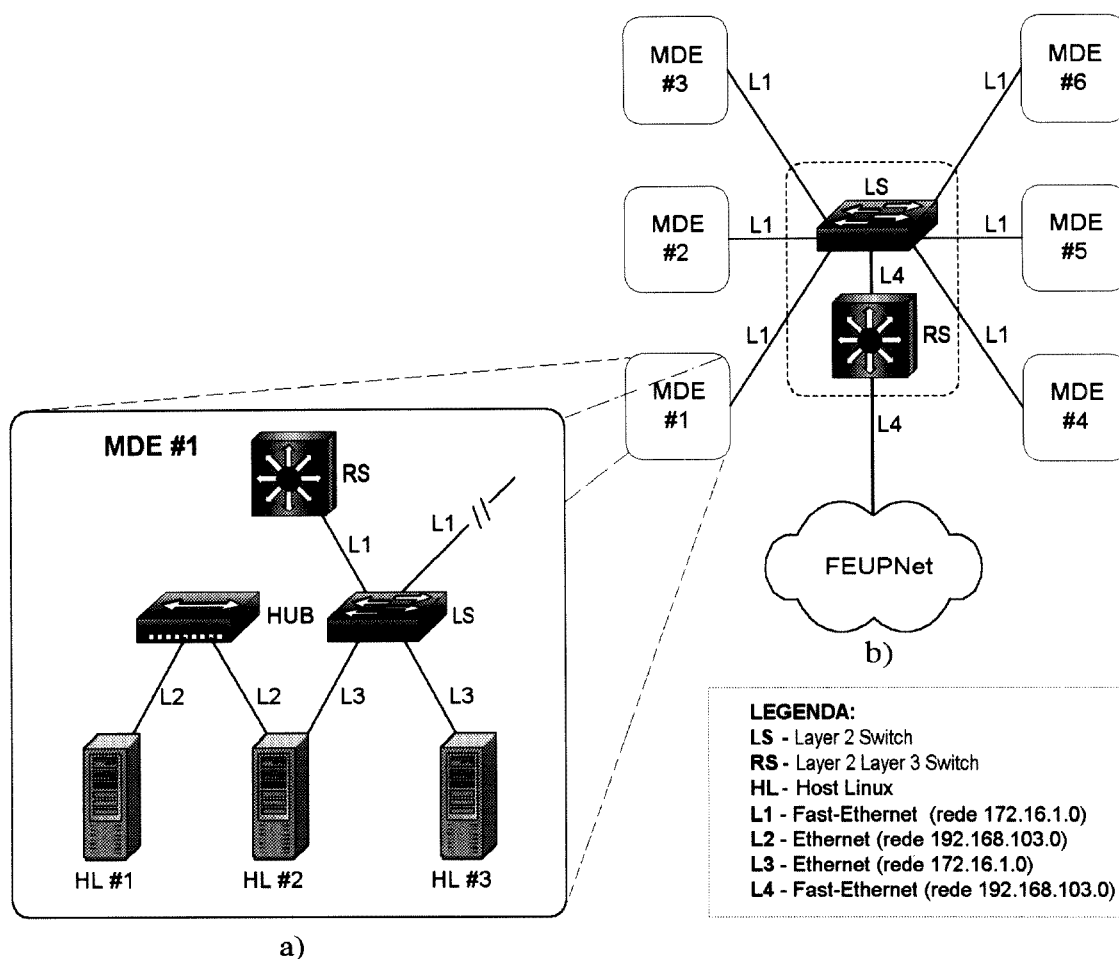


Figura 3.3 - Infra-estrutura da rede de ensino, com os módulos de equipamento: a) Equipamentos de um MDE, ligados na topologia por defeito; b) Os seis *MDEs* do laboratório *cassiopeia*, ligados numa topologia em estrela.

### 3.4.3 Ligação ao exterior

#### *Firewall*

Os *firewalls* são largamente utilizados para implementar algumas políticas de segurança nas redes privadas. Um *firewall* é, na sua forma mais simples, um equipamento computacional que é colocado na fronteira da rede, cujo principal objectivo é controlar o acesso a essa rede, eliminando o tráfego não desejado [11]. Os *firewalls* são ainda utilizados para controlar o acesso a uma *intranet*, protegendo-a de acessos não autorizados oriundos da Internet. No entanto, podem também ser utilizados para proteger uma rede evitando que esta seja atingida por utilizadores noutra rede. Por exemplo, se uma política de segurança diz que a LAN A não deve ser atingida pelos utilizadores da LAN B, o *firewall* é então configurado para prevenir esta ocorrência.

## Tipos de *firewalls*

Os *firewalls*, conforme a tecnologia em que são baseados, podem ser classificados em três categorias:

- Filtro de pacotes (*Packet filters*)
- Servidores de *proxy* (*Proxies* de aplicações e *proxies* de rede)
- *Firewalls* baseados no estado (*Stateful inspection*)

Uma vez que o *firewall* deve agir sobre todos os pacotes que entram e saem da rede do laboratório, um *router* tem normalmente capacidades para funcionar como filtro de pacotes. Um *router*, quando usado como filtro de pacotes, designa-se de *screening router*. Este decide o encaminhamento com base nos endereços IP de origem e de destino, no protocolo utilizado, nos portos TCP/UDP e nas interfaces. As listas de controlo de acessos (*Access Control Lists*) podem ser configuradas para permitir um ou mais serviços em particular, tal como *http* e *ftp* e não autorizar outros como por exemplo *telnet* e *SSH*. À medida que o número de endereços aumenta, a administração das listas de acesso tende a ficar mais complexa e sujeita a erros.

## Arquitectura da rede de acesso ao laboratório

Esta sub-secção descreve a forma como o laboratório é ligado à rede do *campus* da FEUP (*FEUPNet*) e à Internet. O laboratório está isolado da Internet, sendo os acessos controlados por um sistema de *firewall*. Para isso é proposta uma arquitectura de acesso baseada num *screening router* e combinada com um *Firewall* (ver Figura 3.4). O *router* externo funciona como filtro de pacotes, deixando passar apenas os pacotes que obedecem às regras impostas pela sua lista de acesso. Este *router* executa as funções de filtragem de pacotes, com base nos endereços IP de origem e destino, no protocolo utilizado, nos portos e nas interfaces. Só o tráfego que consegue passar por este *screening router* chega ao *firewall*, que constitui uma segunda linha de segurança e que implementa mecanismos de filtragem mais elaborados (mecanismos dinâmicos). Nesta configuração, existe uma zona desmilitarizada (*Demilitarized Zone – DMZ*), onde é colocado o servidor HTTP de acesso público ao laboratório, actuando o *Screening router* como encaminhador de tráfego de e para essa sub-rede.

Na rede DMZ, vai ficar o servidor *http* de acesso ao laboratório, e só este servidor é que pode aceder aos recursos internos da rede do laboratório. Os utilizadores externos só

depois de autenticados neste servidor, é que podem então aceder ao servidor de consolas do laboratório e posteriormente aos recursos de hardware.

O *firewall* possui dois interfaces, um para acesso à Internet, através da rede *FEUPNet*, e outro para acesso à rede de produção do laboratório. Na sub-secção 3.5.3, dedicada ao controlo de acessos, descreve-se a forma como este *firewall* é configurado para proteger a rede do laboratório e fazer o controlo de acessos.

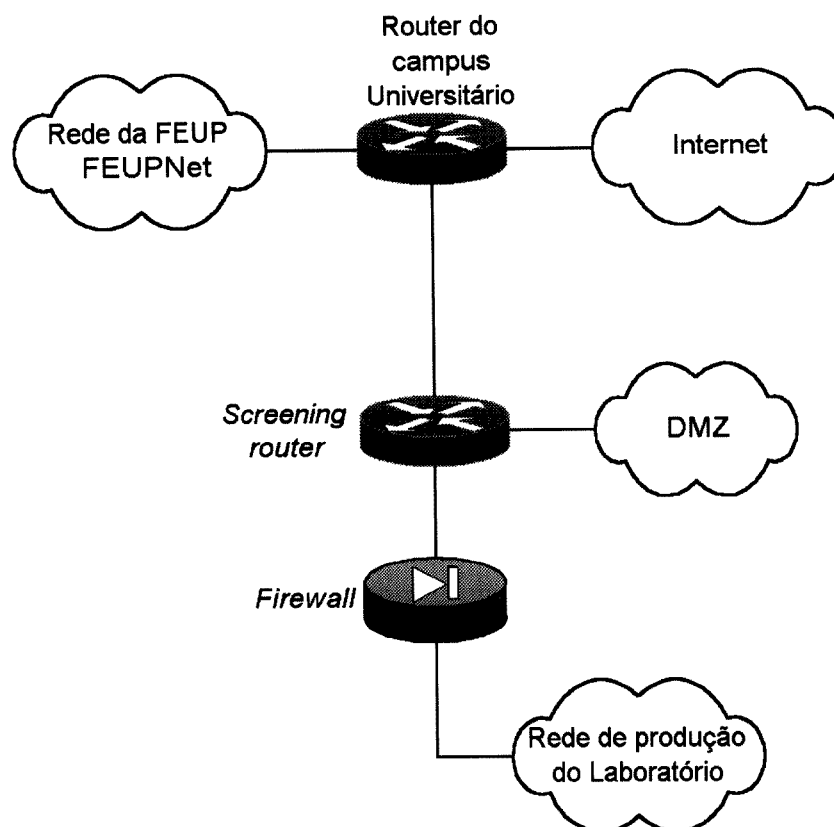


Figura 3.4 - Arquitectura de acesso baseada num *screening router* e num *firewall*.

### 3.4.4 Serviços IP de suporte

A configuração do laboratório inclui ainda os seguintes serviços IP de suporte:

- Servidor de *Proxy* que permite acesso ao exterior a todos os equipamentos do laboratório que usam endereços IP privados (RFC 1928);
- Servidor de DNS que permite fazer a gestão dos nomes e endereços IP, das máquinas do laboratório.

### 3.4.5 Manipulação das topologias de rede

Numa rede de computadores, os painéis de repartição ou de *patching* seriam totalmente dispensáveis se cada tomada tivesse sempre o mesmo serviço e a mesma utilização. Porém, na prática, todas as redes estão sujeitas a alterações, a movimentações de pessoas ou ainda à evolução dos sistemas de comunicação. No caso do laboratório de redes, essas alterações ainda são mais frequentes, porque cada experiência ou exercício diferente que é realizado envolve normalmente alterações na topologia da rede, uma vez que é indispensável o uso de equipamentos e topologias para a realização dos exercícios laboratoriais. Estas apresentam-se de forma fixa (definidas previamente) ou dinâmica (definidas a pedido). Actualmente, utilizam-se topologias fixas, em que a segmentação física da rede é efectuada previamente pelo assistente do laboratório. Pois este altera as ligações nos painéis de repartição, de acordo com os objectivos dos exercícios marcados na agenda do laboratório.

Para permitir topologias a pedido, é necessário introduzir painéis de repartição automáticos, como os produzidos pela *Net-Hopper* [28] ou pela *Apcon* [21]. Com efeito, sendo matrizes de comutadores, possibilitam a comutação remota do equipamento de ensino de um circuito para outro, dando liberdade aos utilizadores do laboratório para manipular a topologia física da rede de ensino, adicionando e retirando equipamentos ou estações de trabalho, de forma automática. Com esta solução, o utilizador consegue alterar a pedido a topologia física da rede de ensino, podendo preparar remotamente o seu ambiente de teste. Neste cenário, a rede de ensino é então segmentada através do sistema de painéis de repartição automáticos.

#### Painéis de repartição automáticos

Com a introdução no laboratório do sistema de painéis de repartição automáticos conseguir-se-á de facto, construir topologias de rede a pedido. Isto vai permitir uma maior flexibilidade na utilização do laboratório, uma vez que ao utilizador é dada a possibilidade de seleccionar um dos exercícios pré-configurados ou ainda seleccionar equipamentos, para construção da topologia pretendida.

A Figura 3.5 mostra um exemplo, em que os módulos de equipamento são ligados a um painel repartidor automático. Desta forma, os equipamentos podem ser ligados em qualquer topologia, suportando assim múltiplas configurações de rede.

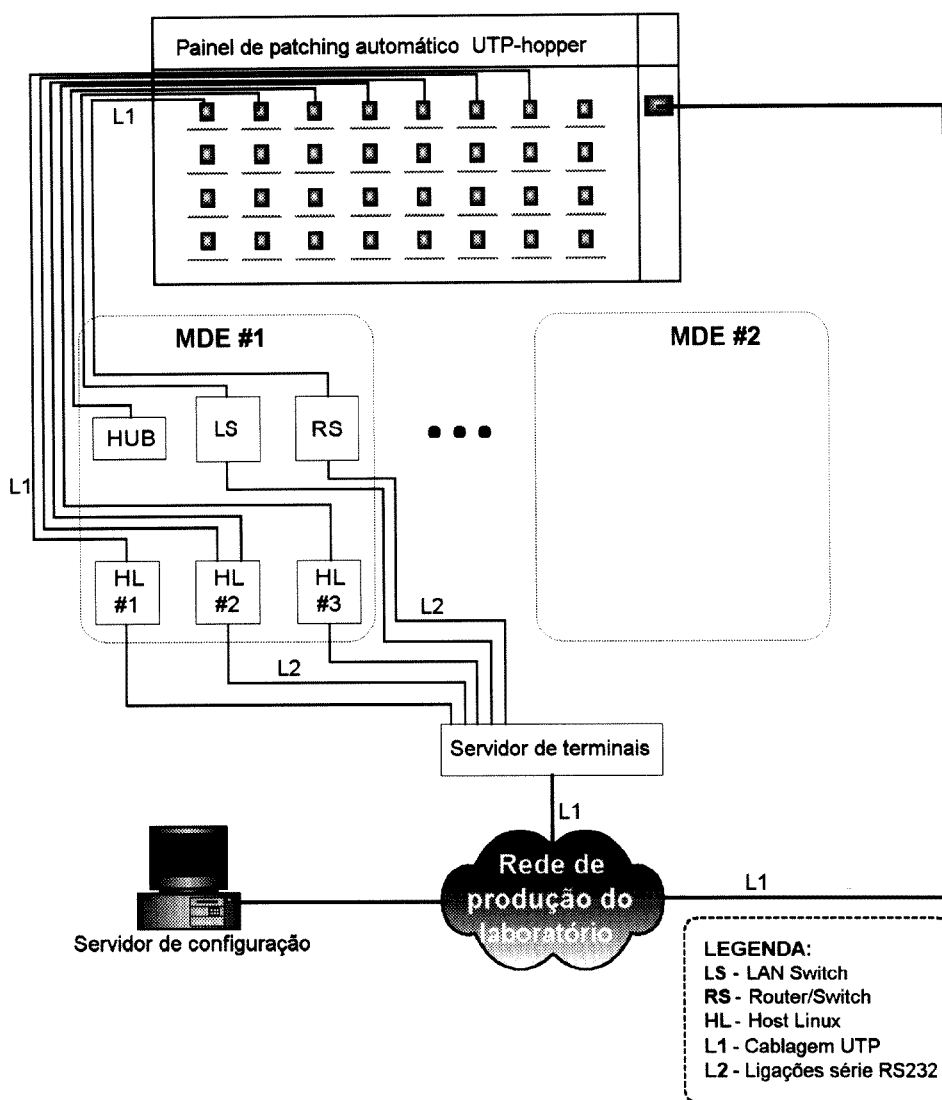


Figura 3.5 - Introdução de um painel repartidor automático na infra-estrutura de rede do laboratório

Ainda que os painéis de repartição automáticos permitam uma maior flexibilidade na utilização do laboratório, há contudo um aumento substancial do custo de implementação, uma vez que os painéis de repartição automáticos custam entre de dez e vinte vezes mais que os painéis convencionais. Por isso, as funcionalidades, no protótipo que foi implementado, foram substituídas em parte, recorrendo a um comutador com suporte para redes virtuais (VLANs).

Uma VLAN corresponde a um conjunto de dispositivos de rede que partilham recursos similares. Uma das suas vantagens reside no facto de segmentar a rede, permitindo que vários utilizadores e recursos sejam agrupados em redes lógicas diferentes.

### 3.4.6 Segmentação da rede para acesso remoto, usando VLANs

O laboratório foi desenhado para operar tanto em modo multi-utilizador como em modo multi-experiência. Isto significa que vários utilizadores estabelecem ligações para os equipamentos de ensino e utilizam o laboratório de forma concorrente. Contudo, ao iniciar um novo exercício, não podem ter acesso aos equipamentos que estão a ser utilizados, nem estabelecer conexões entre equipamentos que possam afectar os exercícios de outros utilizadores. Para controlar esta situação, é mantido, na base de dados do laboratório, o registo de todo o equipamento usado nos exercícios e a rede de ensino é segmentada em várias redes virtuais.

A Figura 3.6 representa a segmentação da rede de ensino do laboratório. Cada MDE é colocado numa rede virtual diferente, o que garante a separação lógica dos segmentos. Desta forma, cada utilizador só tem acesso à porção da rede reservada para a sua sessão de teste.

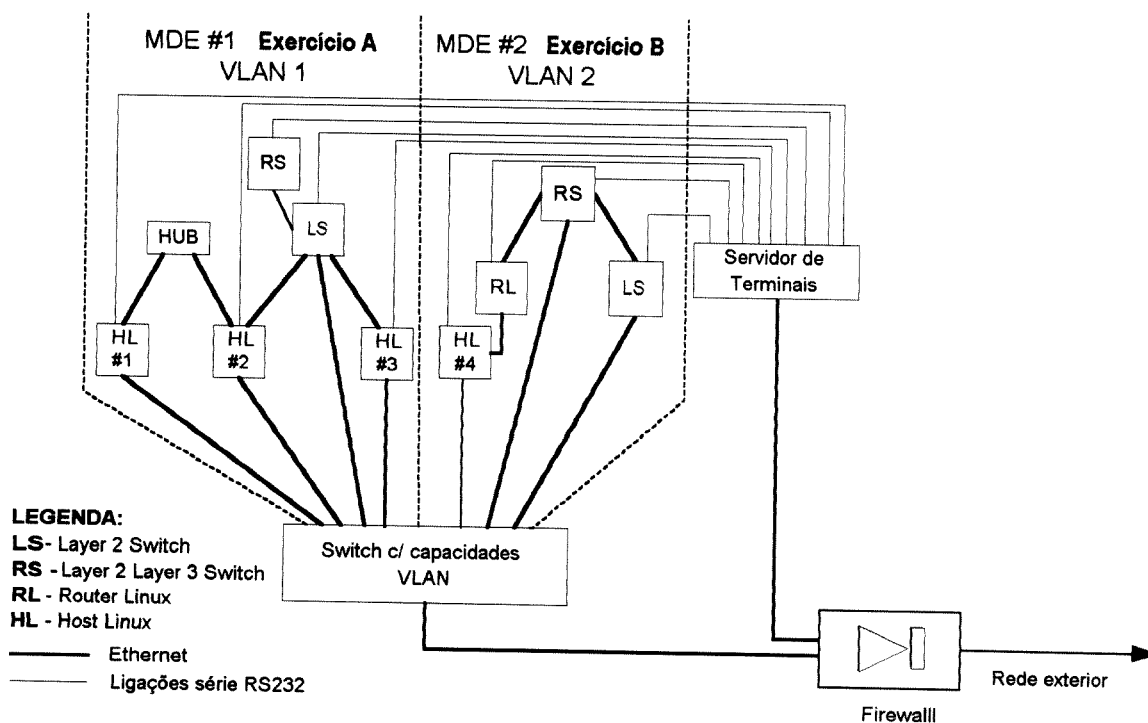


Figura 3.6 - Segmentação da rede para acesso remoto, usando VLANs. É de notar que o MDE #2 não inclui um comutador de nível 2/3, porque este comutador só existe em três bastidores.

## Configuração das VLANs

As VLANs também têm a função de alterar a topologia da rede de ensino a pedido, substituindo, em algumas situações, os painéis de repartição automáticos.

Ao definir redes virtuais, consegue-se manipular a topologia da rede, adicionando ou realocando nós num segmento, sem necessidade de se recorrer ao bastidor. A configuração das VLANs pode ser feita remotamente através das funcionalidades da gestão SNMP (*Simple Network Management Protocol*) [31].

### 3.4.7 Alternativas à topologia por defeito

A Figura 3.7 apresenta uma opção diferente à topologia por defeito. Os dois MDEs representados utilizam equipamento específico (3 routers com interfaces V.35, 3 routers/switchs e 2 hosts Linux). Estes dois módulos são utilizados em exercícios de configuração de comutadores de nível 2 e 3 (encaminhamento em LANS) e configuração de *routers* para interligação de redes em ambiente WAN. Neste tipo de exercício, as ligações entre os *routers* são efectuadas através de cabos V.35 *crossover*, que interligam directamente os interfaces série e utilizam o protocolo HDLC (*High-Level Data Link Control*) para simular ligações dedicadas.

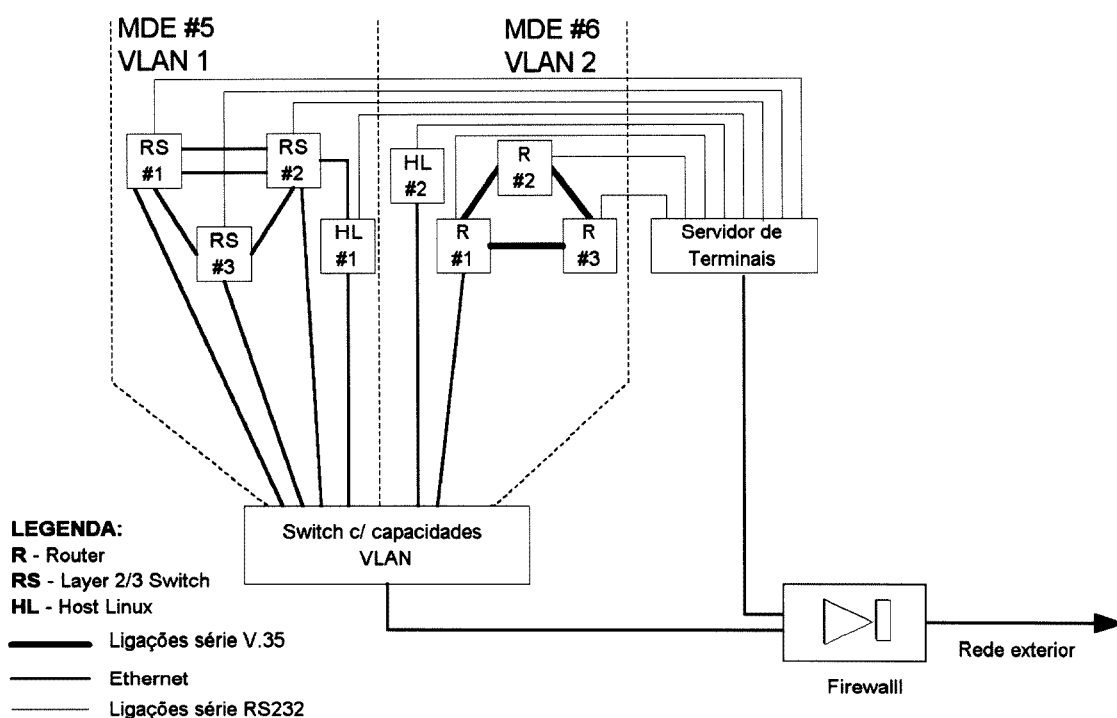


Figura 3.7 – MDEs com equipamento específico, para realização de exercícios em ambiente WAN.

### 3.4.8 Servidor de configuração

Outro componente fundamental no laboratório é o servidor de configuração de equipamentos que mantém os ficheiros *template* de configuração dos equipamentos de rede. Os ficheiros são carregados por TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*) e permitem arrancar os equipamentos para um estado bem conhecido, isto é, a configuração por defeito do exercício. Esta implementação é realizável, porque a maioria dos equipamentos de rede activos, instalados no laboratório, suportam o arranque pela rede, através do protocolo *TFTP*. Encontra-se descrita, na secção 3.6, com algum pormenor, a função deste componente.

## 3.5 Acesso remoto

Um componente chave no laboratório remoto é efectivamente o servidor de consolas 0, utilizado em praticamente todos os exercícios para facilitar aos alunos o acesso remoto às consolas dos equipamentos de ensino. Através do servidor de consolas, os utilizadores ganham acesso, de forma transparente, à CLI (*Command Line Interface*) dos equipamentos reais, para os configurar<sup>10</sup>.

O servidor de consolas é baseado em *software* e fornece o acesso remoto aos equipamentos do laboratório, através de sessões múltiplas de *Telnet* ou *SSH*.

### 3.5.1 Servidor de consolas combinado com servidor de terminais

O servidor de consolas permite partilhar e controlar o acesso dos utilizadores às consolas do equipamento de ensino. Cada porta de consola está ligada a uma porta do servidor de terminais, através de ligações série RS232 (ver Figura 3.8). Quando um utilizador remoto acede, por exemplo, a um *router* para o configurar, o acesso é feito por uma sessão de *telnet* para o servidor de consolas, que a pedido estabelece uma ligação para a porta do servidor de terminais, onde está ligada a consola do *router* que se pretende configurar. Deste modo, o utilizador consegue ter acesso remoto de uma forma transparente às consolas dos equipamentos activos que estejam ligados ao servidor de

---

<sup>10</sup> Segundo um inquérito realizado recentemente pelo IETF, esta é também a forma preferida pelos administradores de sistemas para aceder aos equipamentos de redes que administram.

terminais, mesmo que estes equipamentos não estejam configurados ou não tenham uma ligação à rede.

### 3.5.2 Principais características do servidor de consolas

O servidor de consolas apresenta duas características importantes para o contexto do laboratório remoto: a possibilidade de ter múltiplas sessões na mesma consola e o registo em ficheiros de *log* de toda a informação que sai pelas portas das consolas dos equipamentos ligados.

Estas características são importantes, uma vez que facilitam o trabalho colaborativo. Como o sistema aceita múltiplas sessões para a mesma consola e o controlo da sessão pode ser comutado entre as várias sessões, vários utilizadores podem colaborar, em tempo real, para completarem o mesmo exercício. É possível, por exemplo, a um aluno, que tem uma dúvida, pedir a ajuda do professor que entra na mesma consola e ganha o controlo da sessão. O aluno pode depois observar o professor a resolver o problema e aprender novos métodos de trabalho que talvez possa usar da próxima vez.

Os ficheiros de *log* dos vários dispositivos também podem ser usados como uma ferramenta de aprendizagem, pois os alunos podem aceder ao registo das várias sessões para ver exemplos de comandos utilizados em configurações anteriores. Para que isto seja viável, deve-se dar ao aluno permissões de leitura dos ficheiros de *logs* ou apresentar uma cópia destes ficheiros numa página *html*, para uma maior versatilidade no acesso.

Os *logs* são também usados para aprender com os erros. Se o aluno provocou alguma falha no equipamento e activou o pedido de ajuda, isto é, o auxílio do professor, este é notificado por *e-mail* para solucionar o problema. Após a sua entrada na sessão, consulta os *logs* para ver o que foi feito, incluindo, o que se passou imediatamente antes da falha. Pois, o servidor de consolas regista nos *logs* toda a informação que recebe pelas portas das consolas. Porém, não regista ainda a informação que é enviada do cliente para as consolas.

Os *logs* fornecem também capacidades adicionais para o responsável pela gestão do laboratório, de modo a monitorar as actividades realizadas e detectar eventuais problemas relacionados com a quebra de segurança ou acessos não autorizados aos equipamentos, funcionando assim como um *backup* aos ficheiros de *syslog*. Periodicamente, o *conserver* coloca uma marca nas linhas do ficheiro de *log* com a data e hora do sistema, para ser mais fácil interpretar o ficheiro e verificar o que foi feito e quando foi feito.

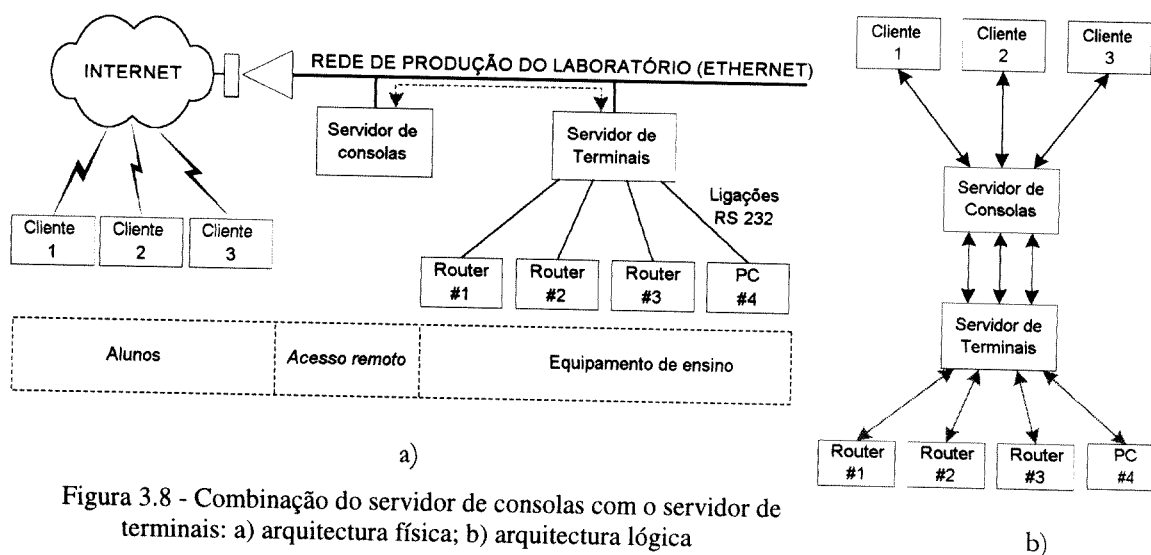


Figura 3.8 - Combinação do servidor de consolas com o servidor de terminais: a) arquitectura física; b) arquitectura lógica

Como se pode observar na Figura 3.8, os equipamentos de ensino encontram-se ligados às portas série do servidor de terminais. Para ligar todos os equipamentos do laboratório, são utilizados dois servidores de terminais de 16 portas cada um, permitindo ligar um total de 32 consolas. No caso dos equipamentos de rede, a conexão física é efectuada através da porta da consola, enquanto que nos sistemas *Linux*, o *tty* é redireccionado para a porta COM1. Para efectuar as ligações físicas, foram construídos *transceivers* DB9/RJ45.

O acesso remoto é feito via rede e, em caso de falha desta, poderá ainda ser utilizada uma ligação *dial-up* de *backup* para manutenção do laboratório. Para isso, é ligado um modem a uma porta de um servidor de terminais.

As funcionalidades, acima indicadas, são proporcionadas pelo servidor de consolas que funciona de uma forma integrada com o ambiente de apoio *web* do laboratório.

### 3.5.3 Segurança e controlo de acessos

A segurança é sempre uma preocupação em sistemas abertos na Internet. Têm de se considerar por isso diferentes aspectos para a implementação do mecanismo de controlo de acessos. O propósito fundamental deste mecanismo é controlar o acesso dos utilizadores aos recursos do laboratório, prevenindo o uso não autorizado dos mesmos. Uma vez identificado o utilizador, pelo seu *login* e *password*, o mecanismo de controlo de acessos determina quais os recursos que devem ser disponibilizados. Este mecanismo é implementado, recorrendo ao *firewall* representado na Figura 3.4.

### 3.5.4 Filtro de pacotes: *iptables*

Todo o tráfego que atravessa uma rede é enviado sob a forma de pacotes. Um filtro de pacotes é um *software* que inspeciona o cabeçalho dos pacotes à medida que estes passam, e decide o destino a dar-lhes. Pode decidir fazer o **DROP** do pacote (isto é, descarta o pacote como se nunca tivesse sido recebido), como pode fazer o **ACCEPT** do pacote (isto é, deixa passar o pacote), ou ainda fazer o **REJECT** do pacote ( idêntico ao *DROP*, mas notifica o nó de origem de que o pacote foi rejeitado). No *Linux*, o filtro de pacotes é implementado ao nível do núcleo. A partir da versão 2.3.15 do núcleo, o filtro de pacotes passou a ser o *iptables* [33] em substituição do *ipchains*.

O mecanismo de controlo de acessos utiliza o *firewall iptables* representado na Figura 3.4 para, com base na definição dinâmica de regras, aceitar ou rejeitar o acesso *telnet* e *SSH* ao servidor de consolas.

A Tabela 3.1 contém exemplos das regras utilizadas para configuração do *firewall* do laboratório remoto, representado na Figura 3.4. Apesar de no protótipo se ter utilizado o *iptables*, as regras são apresentadas numa sintaxe genérica, de modo a que possam ser facilmente adaptadas a qualquer tipo de *firewall*.

A primeira regra é inserida e removida dinamicamente no *iptables* pelo serviço *Labkeeper*<sup>11</sup> de modo a abrir ou fechar os portos de *telnet* e *SSH*, controlando o acesso a partir do exterior ao servidor de consolas. Note-se que estas regras são voláteis e existe uma por cada utilizador ligado ao laboratório, variando apenas o endereço IP remoto.

A regra 2 aceita o tráfego que tem como origem o porto 80 do servidor *http* que se encontra na rede DMZ e se destina ao serviço *Labkeeper* (porto 3123).

As regras 3,4 e 5 servem para impedir uma das técnicas de ataque a *firewalls* mais conhecida: o *ip-spoofing*. Este tipo de ataque consiste em enviar pacotes para outro sistema, simulando que os mesmos são provenientes de um sistema autorizado [13].

Depois de se ter eliminado o *spoofing*, as regras 6 e 7 aceitam todo o tráfego que tem como origem a rede de produção do laboratório e do próprio *firewall*.

---

<sup>11</sup> O *Labkeeper* é um serviço cliente-servidor que foi desenvolvido para configurar dinamicamente as regras no *iptables*, a pedido do servidor *HTTP*. A implementação do *Labkeeper* é detalhada no capítulo 4 dedicado à implementação.

Para que o *firewall* permita a comunicação da rede interna para o exterior, deve deixar passar os pacotes TCP resposta vindos do exterior e destinados à rede do laboratório. Isso é feito pela regra 8, que deixa passar os pacotes que destinam aos portos 1025-65534. As regra 9 permite a entrada de pacotes resposta UDP provenientes de servidores DNS externos. Em seguida, a regra 10 permite a entrada de pacotes ICMP, para respostas ao *ping* e mensagens de erro *Destination Unreachable*. Finalmente todos os restantes pacotes que não foram cobertos por nenhuma das regras anteriores são rejeitados pela regra 11.

Tabela 3.1– Exemplo de regras genéricas para configuração do *firewall*.

| Regra                                                                                                                                      | Fluxo dos dados | Protocolo | End. Origem                   | End. Destino              | Porto Origem | Porto Destino | Ação   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|--------------|---------------|--------|
| # Aceitar <i>telnet</i> e SSH do exterior para o servidor de consolas (esta regra é definida dinamicamente pelo serviço <i>Labkeeper</i> ) |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 1                                                                                                                                          | Entrada         |           | IP Comp. Remoto               | IP servidor consolas      |              | 23, 22        | Accept |
| # Abrir ao servidor http que se encontra na rede DMZ, a porta do serviço <i>Labkeeper</i> (3123)                                           |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 2                                                                                                                                          | Entrada         | TCP       | IP servidor http              | IP externo do firewall    | 80           | 3123          | Accept |
| # Rejeitar <i>IP spoofing</i>                                                                                                              |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 3                                                                                                                                          | Entrada         |           | IP externo do <i>firewall</i> |                           |              |               | Reject |
| 4                                                                                                                                          | Entrada         |           | IP da rede laboratório        |                           |              |               | Reject |
| 5                                                                                                                                          | Entrada         |           | 127.0.0.0/8                   |                           |              |               | Reject |
| # Aceitar tudo o que vier da rede de produção do laboratório:                                                                              |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 6                                                                                                                                          | Entrada         |           | IP da rede laboratório        |                           |              |               | Accept |
| 7                                                                                                                                          | Entrada         |           | localhost                     |                           |              |               | Accept |
| # Aceitar todos os pacotes resposta, vindos do exterior                                                                                    |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 8                                                                                                                                          | Entrada         | TCP       |                               | IP rede laboratório       |              | 1024:65534    | Accept |
| # Aceitar as respostas a DNS                                                                                                               |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 9                                                                                                                                          | Entrada         | UDP       |                               | IP da rede do laboratório | 53           | 1024:65534    | Accept |
| # Aceitar respostas a <i>pings</i> e <i>dest-unreachable</i>                                                                               |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 10                                                                                                                                         | Entrada         | ICMP      |                               | IP da rede do laboratório |              |               | Accept |
| #Rejeitar todos os outros pacotes que não satisfazem as regras anteriores.                                                                 |                 |           |                               |                           |              |               |        |
| 11                                                                                                                                         | Entrada         |           |                               |                           |              |               | Reject |

Um *firewall*, só por si, não permite implementar todas as políticas de segurança do laboratório remoto, porque não fornece autenticação segura, nem tem capacidades de encriptação, mas vai ser muito útil para restringir o acesso ao laboratório de computadores oriundos da Internet, com a exceção dos utilizadores remotos autorizados.

### 3.5.5 *Telnet* ou SSH ?

O acesso remoto é sempre um ponto crítico em questões de segurança. A vulnerabilidade aumenta se estiverem a ser utilizadas aplicações como o *telnet* e *ftp*, que não utilizam comunicação encriptada. Existem esquemas de autenticação para estas aplicações, que recorrem a encriptação dos dados ou a *passwords* que só são válidas uma vez. Na implementação do controlo de acessos, recorre-se a ambos os esquemas.

Ao contrário do *Telnet*, o SSH fornece autenticação e comunicação segura através de canais inseguros, encriptando todo o tráfego e fornecendo vários níveis de autenticação, mediante as necessidades. Contudo, existem duas versões incompatíveis do protocolo, SSH1 e SSH2. No protótipo desenvolvido, o *login* remoto aos equipamentos do laboratório pode ser feito utilizando o *Telnet* ou uma aplicação cliente de SSH [35], uma vez que o servidor de consolas suporta ambos os protocolos. Numa próxima versão do protótipo, o acesso será feito através de uma *applet* SSH que vai ser integrada directamente no ambiente *web* do laboratório, deixando de ser necessário o uso de programas externos à aplicação para aceder ao laboratório.

### 3.5.6 Autenticação dos utilizadores

Deve-se garantir que apenas as pessoas autorizadas possam aceder aos recursos do laboratório. O serviço de autenticação serve precisamente para autenticar o utilizador e verificar se a origem dos dados recebidos coincide com o computador remoto que esse utilizador diz estar a usar. Este serviço aumenta a garantia de que não vamos ter ataques por imitação *spoofing attacks*.

A autenticação dos utilizadores é feita ao nível da aplicação *web*, que corre no servidor http exterior, usando a técnica de *login* e *password*. Ao utilizador é fornecido um *login* e *password* que deve usar para se autenticar na aplicação do laboratório.

Como já vimos, quanto à segurança no controlo de acessos aos equipamentos do laboratório, existem várias opções que podem ser usadas. o mecanismo de controlo de acessos vai ser assegurado pelo *iptables*. Assim, as sessões de *telnet* ou SSH só serão aceites depois dos utilizadores se terem autenticado no servidor http e durante o período reservado para o seu exercício. Fora desse horário, o acesso é negado, através de regras que são definidas dinamicamente no *iptables*. Na secção 4.4 dedicado à implementação, explica-se a forma como esse controlo é efectuado.

## 3.6 Gestão do laboratório

O módulo de gestão do laboratório remoto integra dois sub-sistemas com diferentes funções: o sub-sistema de **gestão de acessos** e o sub-sistema de **gestão de configurações**. Estes dois sub-sistemas interagem entre si, partilhando a informação de gestão, que é armazenada numa base de dados relacional. O primeiro sub-sistema integra duas funções fundamentais: o controlo de acessos dos utilizadores aos recursos do laboratório e a agenda para planear a sua utilização. Quanto ao segundo sub-sistema, este engloba o serviço de configuração de equipamentos que é responsável por reiniciar os equipamentos antes do início de um novo exercício. Engloba também a gestão da rede de ensino, que congrega um conjunto de funções de gestão de redes SNMP. Estas recolhem, monitoram e mantêm a informação de configuração, de forma a gerir as alterações de hardware e de software do laboratório. Nestas funções, insere-se a configuração remota, por SNMP, do comutador central onde se definem as redes virtuais que fazem a segmentação da rede de ensino.

Estes dois sub-sistemas interagem entre si com a infra-estrutura da rede de ensino e com a aplicação *Cassiopeia@FEUP*, partilhando a informação de gestão, que é armazenada numa base de dados relacional. Este funcionamento encontra-se ilustrado na Figura 3.9.

### 3.6.1 Servidor *Web apache*

O servidor *Apache* tem uma dupla função: a de comunicar com os clientes através da Internet e a de interagir com os outros componentes da gestão do laboratório. Para otimizar a função deste servidor, utilizou-se o sistema operativo *Linux* com o servidor *Apache* [20] e exploraram-se várias opções relativamente às linguagens de programação (PHP, *Perl*, *shell script* e *javascript*).

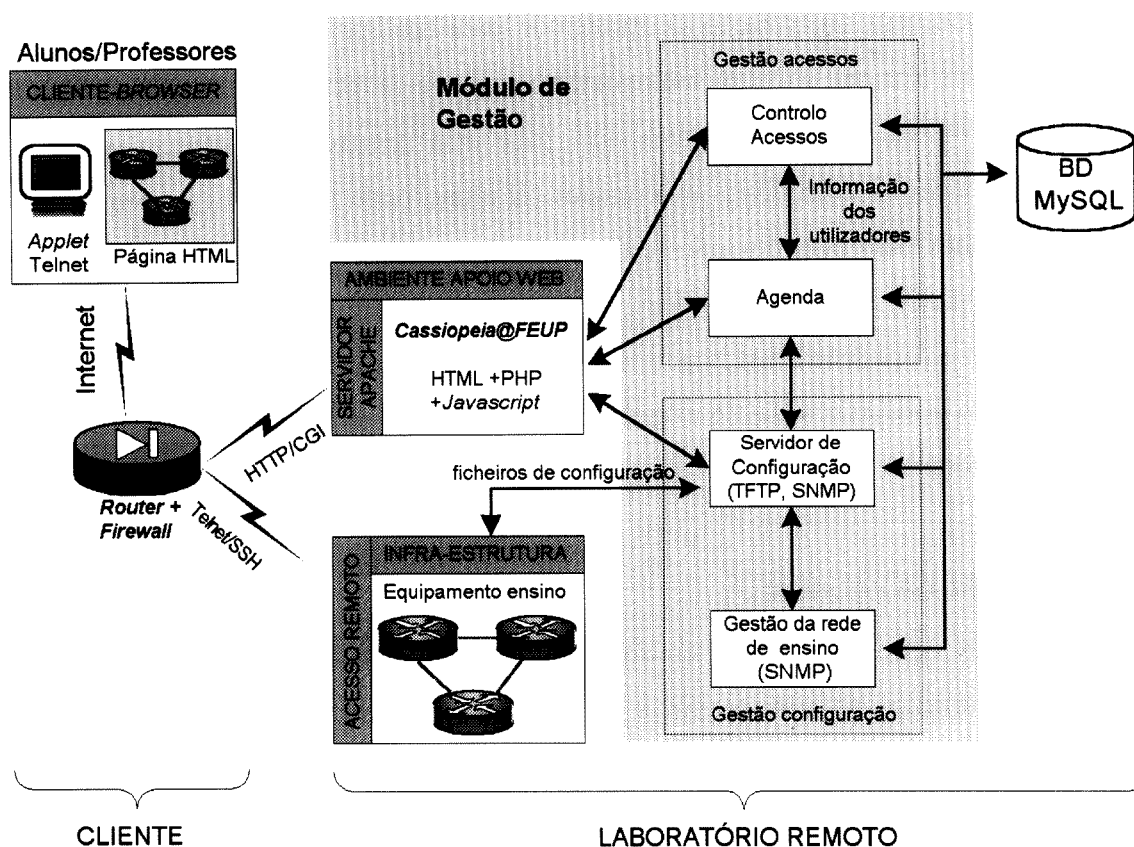


Figura 3.9 - Arquitectura do módulo de gestão, com os vários componentes e suas interligações.

### 3.6.2 Controlo de acessos

O controlo de acessos é responsável pela autenticação dos utilizadores e permite ao administrador do laboratório manter informação relativa às contas dos utilizadores e gerir os acessos. O mecanismo de controlo de acessos interage:

- com a agenda para planear as sessões, em função da quota de tempo definida pelo professor para o exercício;
- com o *iptables*, para controlar o acesso dos utilizadores aos recursos. A sua configuração é feita dinamicamente pelo *Labkeeper*.

### 3.6.3 Agenda

A agenda permite gerir a utilização do laboratório e efectuar a reserva de recursos [15]. Este serviço serve-se da base de dados do laboratório para manter os dados. Quando

os alunos recebem autorização do professor para realizar determinada experiência ou exercício, eles têm que previamente reservar na agenda os recursos necessários. O interface da agenda consiste num calendário que, para uma determinada semana seleccionada, mostra os períodos disponíveis e ocupados. O aluno pode reservar a hora que mais lhe convém, dentro dos períodos não reservados. Estes períodos são monitorizados e ficam disponíveis para marcações posteriores. As marcações efectuadas são mantidas na base de dados e essa informação é usada pelo controlo de acessos, para que, na hora marcada, seja concedido ao utilizador o acesso exclusivo aos equipamentos reservados para a experiência ou para o exercício.

### Interacções da agenda:

- Interage com o servidor de configuração do equipamento para preparar e arrancar os equipamentos de ensino com a configuração definida por defeito, sempre que se inicia um novo exercício.
- Interage com o componente de gestão da rede de ensino para segmentar a rede de ensino durante experiências concorrentes.

### Interacção da agenda com a base de dados

A Figura 3.10 expõe a estrutura das tabelas da base de dados<sup>12</sup>, que interagem com a agenda. A tabela *utilizador* armazena os dados mais relevantes dos utilizadores, como o nome, o *login*, a *password*, a *morada*, etc. O campo *tipo\_acesso* identifica o tipo de utilizador que pode ser (aluno, professor ou administrador). A tabela *Equipamento* mantém informação relativa ao cadastro dos equipamentos de rede e a tabela *Reserva* mantém informação sobre as reservas de equipamentos efectuadas na agenda do laboratório.

Relativamente à implementação, a agenda está integrada na aplicação *Cassiopeia@FEUP*. Na Figura 4.7 pode-se observar um exemplo do interface da agenda.

---

<sup>12</sup> O projecto conceptual da base de dados é descrito no capítulo 4, dedicado à implementação.

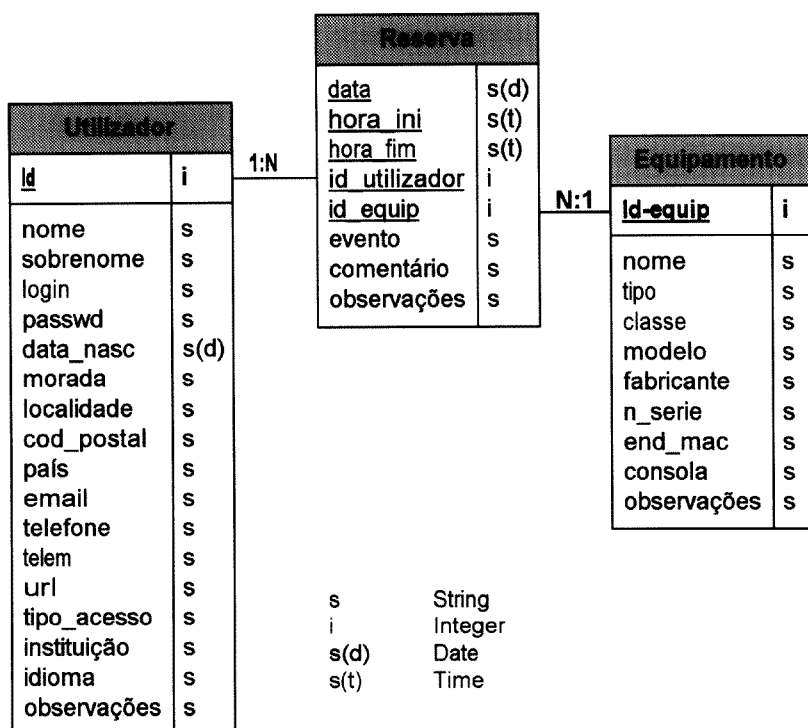


Figura 3.10 - Estrutura das tabelas que se relacionam com a agenda

### 3.6.4 Gestão de configuração

A gestão de configuração é uma das funções da gestão de redes que recolhe, monitora e altera a informação de configuração, de modo a gerir as alterações de hardware no laboratório. Existem dois elementos fundamentais na gestão da configuração: O servidor de configuração e uma aplicação de gestão de redes comercial (*Optivity*) [30]. O primeiro trata da inicialização dos equipamentos activos da rede de ensino para uma configuração por defeito. O segundo permite manipular a topologia da rede de ensino, através da configuração de redes virtuais e manter uma imagem topográfica do estado lógico e físico da rede. Esta aplicação mantém o trilha das alterações, adições e eliminações de equipamentos na rede para garantir consistência entre a topologia real da rede e aquilo que a aplicação representa.

### 3.6.5 Servidor de configuração

Antes de começar um novo exercício, os equipamentos têm de ser preparados. A sua preparação consiste na reinicialização dos equipamentos com a configuração específica para o exercício. Esta operação é desencadeada pelo servidor *web*, que invoca comandos nos equipamentos a reiniciar, através do servidor de consolas, forçando o *reboot* dos mesmos. A configuração de arranque depende do exercício em causa. Existe um ficheiro de configuração para cada equipamento, mas o conteúdo desse ficheiro pode variar de acordo com os objectivos do exercício. Por exemplo, num exercício de configuração de *routers* para interligação LAN WAN, os *routers* arrancam com um ficheiro de configuração que não tem a configuração dos interfaces de rede definida. Essa configuração faz parte das actividades do exercício, enquanto que, num exercício de configuração de *Access Lists*, os mesmos *routers* arrancam com os interfaces de rede já configurados. Neste caso, o aluno já não precisa de perder tempo a configurar os interfaces de rede, concentrando-se apenas no objectivo do exercício, ou seja, a definição das listas de acesso.

#### Lista de funções do servidor de configuração:

- Gestão de configurações, permitindo a análise e edição de ficheiros de configurações associados aos equipamentos de ensino, assim como a comparação de ficheiro para a correcção e posterior avaliação dos exercícios;
- Configuração e invocação de comandos, a aplicar aos equipamentos ou grupos de equipamentos, possibilitando a activação de acções em instantes previamente definidos;
- Gestão de equipamentos, através da criação e manutenção de duas tabelas na base de dados contendo o inventário completo dos componentes da rede;
- Gestão de *logs*, através do armazenamento, consulta ou eliminação de mensagens obtidas das consolas dos equipamentos de ensino.

### 3.6.6 Gestão da rede de ensino

O laboratório remoto permite também que os alunos tenham aulas práticas de gestão de redes. Para a realização de exercícios de gestão de redes, são utilizadas um conjunto de funções específicas inerentes à gestão do laboratório. Estas funções são realizadas através do sistema de gestão de redes *Optivity* [30]. Este sistema utiliza uma arquitectura cliente-servidor que permite acesso remoto para gestão, através de um interface *web*, com a possibilidade de múltiplos utilizadores acederem ao servidor *Optivity*, a partir de estações clientes. A lista de funções engloba:

- Descoberta de elementos gestionáveis, para criação automática de uma base de dados de gestão e representações gráficas da rede de ensino, diminuindo desta forma consideravelmente o tempo despendido pelos alunos na adaptação e alteração das topologias;
- Configuração de VLANs;
- Geração de gráficos em tempo real utilizando dados capazes de reflectirem o estado de cada dispositivo (por exemplo, carga de CPU, *bytes* trocados a nível de uma interface ou tráfego I P);
- Gestão de equipamentos activos: *routers*, *switchs*, *hubs*, etc.

## 3.7 Ambiente de apoio *web*

O ambiente de apoio *web* é implementado através de uma aplicação baseada na *web*, que se designou de *Cassiopeia@FEUP*. Esta aplicação funciona com o servidor *Apache* e inclui um conjunto de sub-componentes implementados em PHP que processam os pedidos dos utilizadores. O acesso dos utilizadores ocorre através de ligações *http* para o servidor *apache*, que interage com o código PHP, que, por sua vez, faz o acesso aos dados armazenados na base de dados *Mysql*. O código PHP é embutido em páginas HTML e é processado pelo servidor *apache*, não sendo, no entanto, visível pelo utilizador.

A aplicação permite três níveis de acesso distintos, de acordo com o tipo de utilizador (professor, aluno e administrador). As funções acessíveis aos utilizadores variam consoante o seu tipo de acesso. Alguns dos componentes do módulo de gestão como a

agenda e parte do controlo de acessos encontram-se integrados na aplicação *Cassiopeia@FEUP*. A Figura 3.9 ilustra a forma como esta aplicação interage com os outros módulos do sistema.

O primeiro passo no desenvolvimento de qualquer aplicação é, de certo, a consulta obrigatória da base de potenciais utilizadores para discernir as suas reais necessidades no projecto em causa e criar uma lista de características sobre a qual se deve orientar o desenvolvimento da aplicação [5]. É, de facto, um pressuposto fundamental para definir as capacidades da aplicação a implementar. O laboratório de redes remoto é utilizado por dois tipos de utilizadores distintos: os alunos, que acedem ao laboratório através dos seus *browsers* para realizar exercícios e fazer experiências, e os docentes que leccionam as disciplinas, criam os exercícios e orientam os alunos no laboratório. No entanto, existe ainda um terceiro tipo de utilizador que é o administrador do laboratório, que tem privilégios para criar todo o tipo de utilizadores, criar disciplinas, alterar *passwords* e parametrizar a aplicação.

Assume-se que, após a entrevista aos alunos e docentes, os seguintes requisitos foram gerados:

- Os alunos devem ter a possibilidade de aceder ao laboratório a qualquer hora, a partir de qualquer lugar, utilizando apenas um *browser*.
- Os alunos só devem ter acesso a determinadas disciplinas, exercícios e equipamentos. Estas capacidades dependem da disciplina em que o aluno está envolvido, dos módulos pertencentes a essa disciplina, dos equipamentos necessários para completar um determinado exercício, do período no semestre e dos resultados alcançados nos exercícios anteriores. Para cada exercício, o docente deve poder limitar as capacidades do aluno, de forma a restringi-lo apenas ao que é necessário para completar o exercício.

### 3.7.1 Modelo Conceptual

Com o objectivo de auxiliar o desenvolvimento do ambiente de apoio *web* e de fornecer documentação útil para alterações futuras da aplicação, foi criado um modelo conceptual, da aplicação. Esta deve ser modular, deve satisfazer os requisitos definidos e permitir a integração de ferramentas de comunicação colaborativa ou, em alternativa, ser integrada noutra plataforma de *WBT*, que já disponibilize essas ferramentas.

As técnicas utilizadas para apresentar os processos e interações dos utilizadores na aplicação resumem-se em diagramas de fluxos e esquemas representativos das interações e das funções acessíveis pelos utilizadores na aplicação.

Foi ainda desenvolvido um protótipo, detalhado no capítulo 4, onde é feito o projecto conceptual da base de dados e implementadas algumas das características especificadas no modelo, cujo objectivo é demonstrar a viabilidade das ideias apresentadas.

### 3.7.2 Tipos de acessos à aplicação

Para aceder ao laboratório, é necessário um registo prévio, realizado através de um formulário, que cadastra os utilizadores numa tabela da base de dados. Para além dos dados pessoais do utilizador, é registado também o tipo de utilizador, uma vez que existem três tipos com funcionalidades distintas: o administrador, os professores e os alunos. O primeiro tem uma *password* que lhe permite aceder a um módulo da aplicação para administração. Neste módulo, o administrador pode fazer a gestão, parametrização e manutenção do laboratório, incluindo a manutenção do cadastro de professores. Tendo os dados pessoais dos docentes, realiza esta tarefa através da opção "Novo professor". Deve ainda introduzir os dados relativos à instituição, definir um *login/password* e, posteriormente, enviar essa informação ao professor.

O professor, depois de fazer o *login*, tem acesso a uma página de administração com opções para manutenção dos cadastros dos alunos, das disciplinas, dos grupos e para alteração dos seus dados pessoais. Tem ainda privilégios que lhe permitem adicionar novos módulos e criar novos exercícios. Quando cria um exercício, o professor pode optar por definir precedências de forma a impedir o acesso dos alunos que tenham exercícios anteriores em falta. Esta é a forma encontrada para garantir que os alunos só avançam para exercícios mais avançados depois de completarem os exercícios básicos anteriores.

Outro tipo de utilizador é o aluno, que da primeira vez que acede ao URL (*Uniform Resource Locator*) do laboratório, regista o seu cadastro através da opção "Novo aluno", inserindo os dados pessoais, disciplina e grupo a que quer pertencer. Depois, aguarda que lhe seja enviado um *e-mail* de resposta com a sua *password* para acesso ao laboratório. O diagrama da Figura 3.11 ajuda a compreender o processo de registo de um novo aluno.

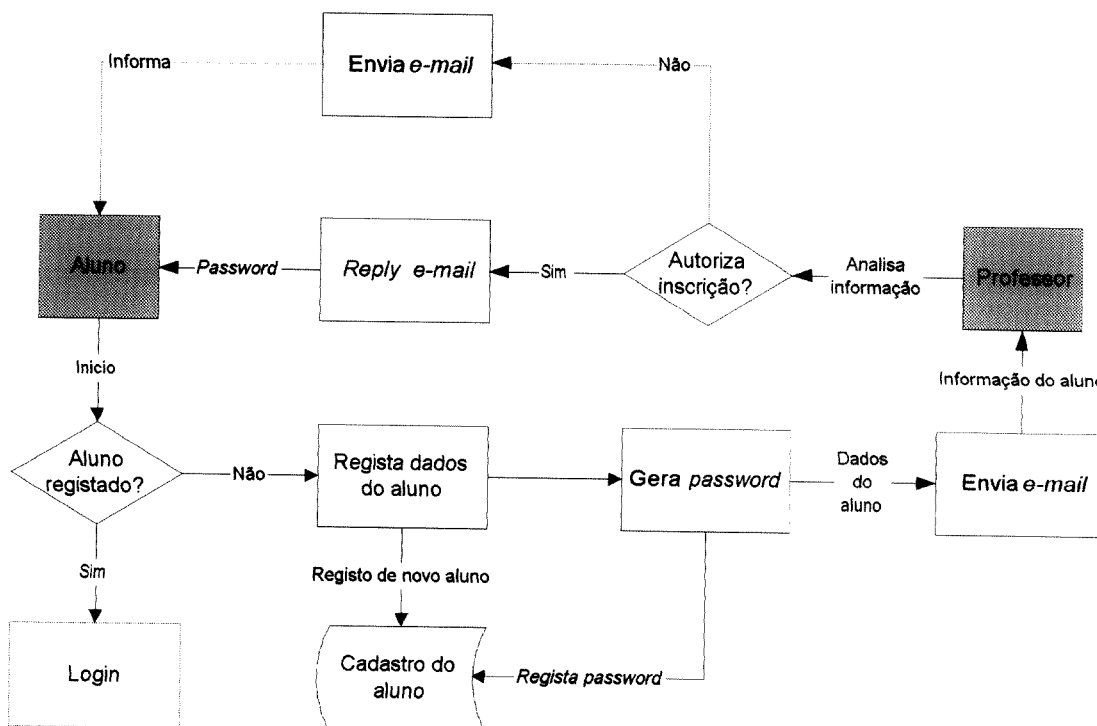


Figura 3.11 - Diagrama de fluxos ilustrativo do registo de um aluno (adaptado de [4]).

Após o *auto-registo* do aluno, a aplicação gera uma *password* aleatória e envia automaticamente um *e-mail* para o professor contendo os dados principais do aluno, a *password*, a disciplina e o grupo escolhido. Esta informação também é armazenada na base de dados.

No caso do professor aceitar a inscrição do aluno para aquela disciplina, faz um *reply* da mensagem no seu programa cliente de correio electrónico, reenviando a mensagem para o aluno com a *password* de acesso.

Esta solução tem a vantagem de os alunos poderem fazer o *auto-registo*. Contudo, eles só acedem efectivamente ao laboratório, depois do professor autorizar. Para evitar que o professor fique a saber a *password* do aluno, este deve alterá-la da primeira vez que fizer o *login* no laboratório.

Como já foi referido anteriormente, o acesso à aplicação varia consoante o tipo de utilizador. A Figura 3.12 ilustra bem as diferentes opções disponíveis para os vários utilizadores, de acordo com o seu tipo de acesso.

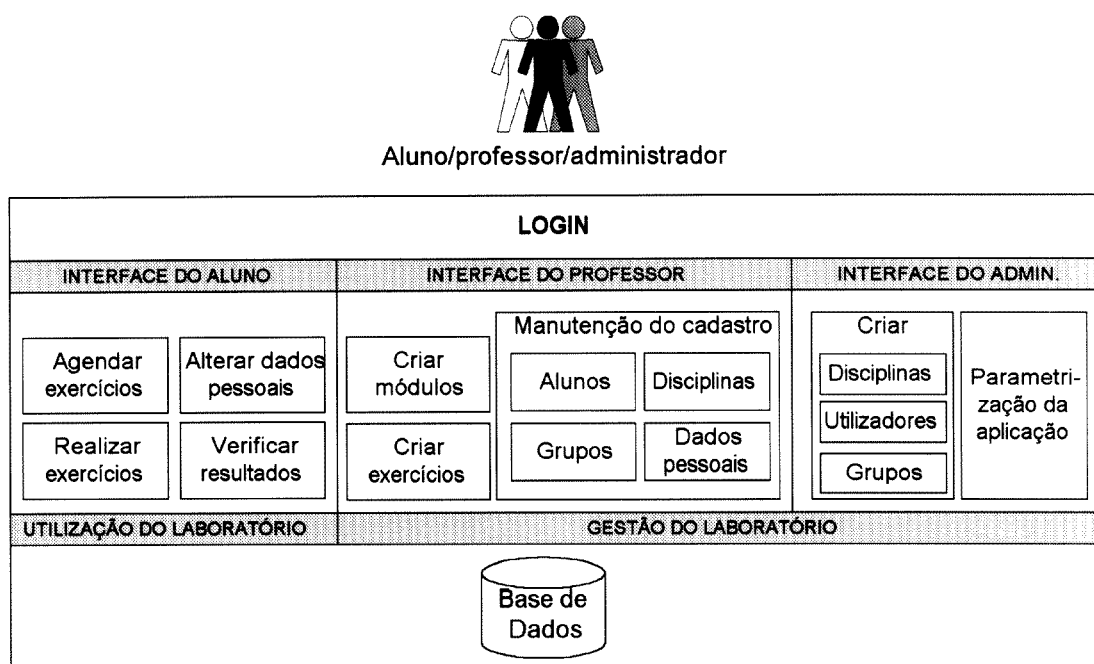


Figura 3.12 - Esquema das funções acessíveis na aplicação, de acordo com o tipo de utilizador (adaptado de [4] ).

### 3.7.3 Interacção dos alunos com a aplicação

Do ponto de vista do aluno, o laboratório funciona da seguinte forma: depois de se autenticar, deve seleccionar a disciplina, isto no caso de estar inscrito a várias disciplinas. No caso de estar inscrito apenas a uma disciplina, esta é seleccionada automaticamente. De seguida, o interface do aluno mostra-lhe uma lista com os exercícios existentes para a disciplina seleccionada. Os exercícios podem estar activos ou inactivos, dependendo da época no semestre e do progresso do aluno nos exercícios já realizados. Quando o aluno selecciona um exercício activo, tem duas opções: tentar iniciar o exercício de imediato ou reservar na agenda do laboratório um dia e uma hora para o realizar. Na primeira opção, o sistema verifica na agenda se existem recursos disponíveis para suportar a realização imediata daquele exercício. Se realmente existirem, o exercício é reservado automaticamente na agenda, durante o tempo estimado para a sua realização. Se, por outro lado, não existirem recursos disponíveis para começar o exercício naquele momento, o aluno tem a possibilidade de reservar um dia e uma hora na agenda do laboratório, para a realização do exercício. Em ambos os casos, o aluno só pode começar o exercício, depois deste ter sido reservado na agenda e só tem acesso aos equipamentos, durante o período reservado. Uma vez iniciado, o exercício não pode ser interrompido a meio.

Quando o aluno inicia um exercício, a aplicação interage com o servidor de configuração através de um conjunto de *scripts* CGI, que vão preparar os equipamentos

com a configuração base definida para esse exercício. Esta operação pode demorar alguns minutos, que é o tempo necessário para reiniciar os equipamentos de ensino. A aplicação interage também com o controlo de acessos, adicionando uma regra no *iptables* com o fim de permitir o acesso via *telnet* ao servidor de consolas. Depois destas operações estarem concluídas, o interface do utilizador mostra a página do exercício que tem hiperligações para vários recursos, nomeadamente: o enunciado do exercício, com uma descrição dos objectivos e das tarefas propostas, uma imagem com a topologia de rede disponível para o exercício (consola do exercício) e hiperligações para outra documentação *on-line* que seja considerada relevante para o exercício.

Depois de ler o enunciado, o aluno pode entrar na consola do exercício e começar o seu trabalho. A imagem com a topologia da rede, contém *icons* activos, que quando activados com um clique do rato, abrem uma ligação por *telnet* para o equipamento respectivo. Podem existir também hiperligações para outra documentação

O aluno tem, de facto, um tempo limitado para completar o exercício que começa a decrementar a partir do momento que inicia o exercício. O tempo disponível é previamente definido pelo professor, de acordo com o grau de dificuldade do exercício criado. A aplicação periodicamente avisa o utilizador do tempo que ainda lhe resta para terminar o exercício. Quando o tempo estimado para o exercício chegar ao fim, o mecanismo de controlo de acessos corta a conexão do aluno com as consolas dos equipamentos, sendo este obrigado a terminar o exercício. Esta metodologia é utilizada para garantir que os equipamentos fiquem livres para outros alunos interessados e com marcação prévia.

O diagrama de fluxos da Figura 3.13 descreve a interacção do aluno com a aplicação, desde o momento do *login* até à conclusão de um exercício.

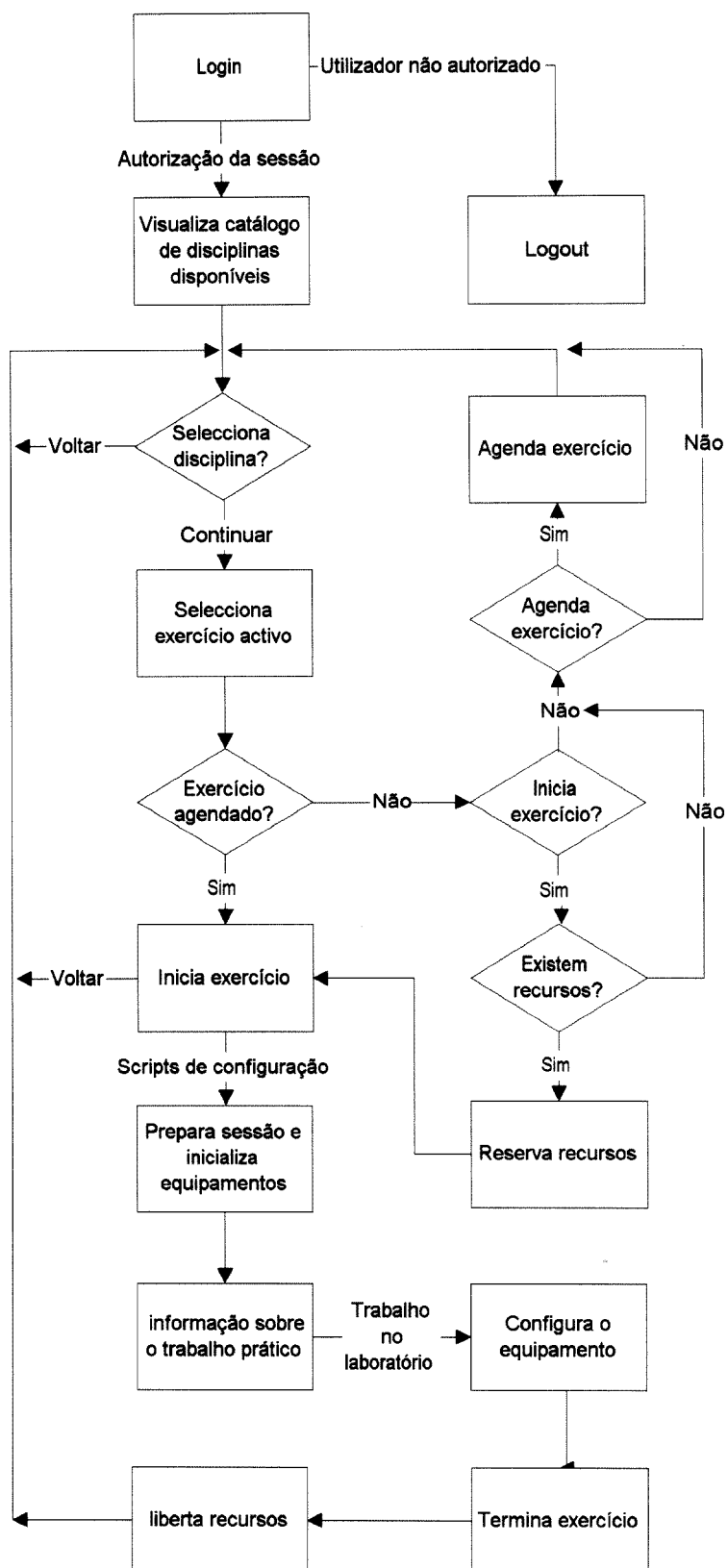


Figura 3.13 – Fluxo da interação do aluno com a aplicação

### 3.7.4 Estrutura hierárquica dos exercícios

A forma como os cursos estão organizados é ilustrada na Figura 3.14. Note-se que as disciplinas constituem as entidades de mais alto nível, possuindo um identificador próprio e zero ou mais módulos. Como exemplos de disciplinas, pode-se citar “Interligação e Gestão de Redes” e “Redes e Serviços em Banda Larga”. Quanto aos módulos, estes compõem a segunda camada e podem fazer parte de diversas disciplinas, uma vez que são unidades independentes. Um módulo que trate de encaminhamento IP pode, por exemplo, ser usado na disciplina de Interligação e Gestão de Redes e ainda na disciplina de Redes e Serviços de Banda Larga. Já a disciplina de Interligação e Gestão de Redes pode ser composta pelos seguintes módulos: configuração de serviços IP, encaminhamento IP, Redes virtuais (VLAN) e redes privadas virtuais (VPN). Os exercícios representam as experiências a executar no laboratório e formam a base da estrutura, pois cada um deles deve fazer referência a um determinado módulo. Cada exercício é composto por um enunciado, que explica os objectivos do trabalho e os passos a seguir para a realização do mesmo. Poderá ainda existir mais documentação auxiliar, relacionada com o exercício, como imagens da topologia e hiperligações para documentos relacionados.

A principal vantagem desta estrutura é a possibilidade de reutilização de módulos em diferentes disciplinas. Como cada exercício está associado a um módulo, o professor pode usar módulos já existentes para criar uma nova disciplina. Esta estrutura permite uma grande flexibilidade no processo de composição das diversas disciplinas, tendo em conta que o professor pode configurá-las da forma que considerar conveniente, adicionando ou retirando módulos e criando, adaptando ou removendo exercícios.

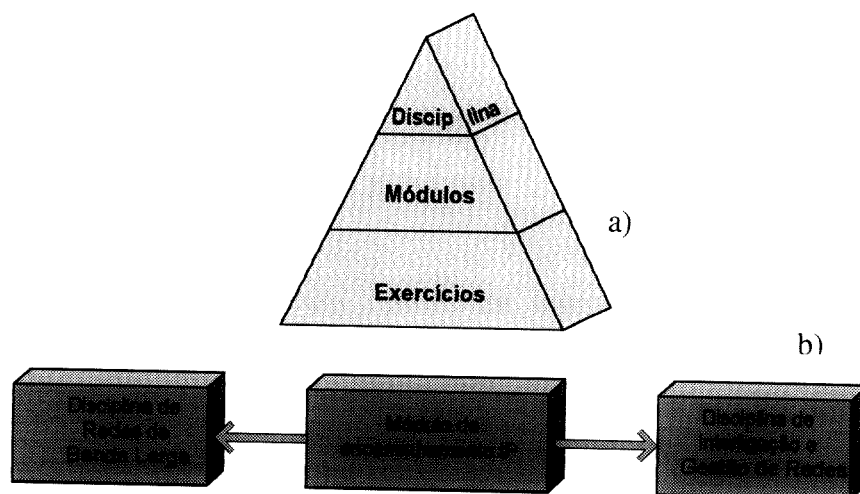


Figura 3.14 –a) Hierarquia das entidades envolvidas numa disciplina. b) Exemplo de reutilização de um módulo em duas disciplinas

### 3.7.5 Metodologia para a realização dos exercícios

Para realizar os exercícios, os alunos acedem ao laboratório utilizando um *web browser*. Depois de passarem por um processo de autenticação, através de *login* e *password*, chegam à página dos exercícios, onde seleccionam o exercício pretendido e finalmente têm acesso à página HTML do exercício, que é construída dinamicamente pela aplicação. Esta página inclui os objectivos, a introdução teórica e as actividades do exercício. Este exemplo inclui ainda uma imagem com *icons* activos da topologia da rede para o exercício. Ao fazer um clique sobre uma área activa da imagem (por exemplo, sobre um *router*), o utilizador ganha acesso, via servidor de consolas, à CLI desse *router*. Utilizando a CLI os alunos configuram as interfaces de rede, atribuem os endereços IP, definem as rotas de encaminhamento, activam um protocolo de encaminhamento, gravam a configuração e finalmente verificam o funcionamento das configurações efectuadas, fazendo testes de conectividade usando os comandos *ping* e *traceroute*. Todos os exercícios seguem a mesma sequência, variando essencialmente o equipamento, a topologia e as actividades a realizar.

Para diversificar o tipo de tarefas dos alunos, podem facilmente ser introduzidas algumas alterações à metodologia usada para apresentação dos exercícios. Por exemplo, alguns exercícios podem consistir em arrancar os equipamentos com uma configuração por defeito, com alguns erros propositados. Neste caso, o trabalho do aluno consiste em ter que descobrir qual o problema que impede que a rede funcione correctamente e resolvê-lo.

## 3.8 Conclusões do capítulo

A possibilidade de aceder a um laboratório de redes, através da Internet, é realmente um conceito inovador e ainda pouco explorado. Com o objectivo de suportar o ensino da engenharia de redes, inclusive à distância, desenvolveu-se uma arquitectura que permite expandir as funcionalidades do laboratório de redes *Cassiopeia*, de forma a que a presença física para a realização de experiências seja dispensada. A abordagem consistiu em instrumentar a infra-estrutura existente, adicionando-lhe um módulo de acesso remoto, um módulo de gestão e ainda um ambiente de apoio *web*. O módulo de acesso remoto utiliza basicamente um servidor de consolas que facilita o acesso à linha de comandos dos equipamentos de ensino. Quanto ao módulo de gestão, integra vários componentes,

responsáveis pela gestão de acessos e pela gestão da configuração do laboratório. Estes componentes são implementados através de uma combinação de *scripts* desenvolvidos especificamente para o efeito e pelo *software* de gestão de redes *Optivity* [30]. O laboratório remoto integra também um ambiente de apoio *web*, que auxilia a realização dos exercícios no laboratório. Este interface engloba alguns dos componentes de gestão do laboratório e ferramentas de comunicação síncronas e assíncronas que suportam o trabalho colaborativo no laboratório. Para demonstrar o funcionamento do laboratório, foi implementado um protótipo do laboratório de redes remoto, cujos detalhes técnicos encontram-se expostos no capítulo seguinte.

## Capítulo 4

# Implementação

---

### 4.1 Introdução

Para testar a arquitectura e o conceito do laboratório remoto *eCassiopeia*, proposto no capítulo anterior, foi desenvolvido um protótipo com a implementação dos principais módulos.

Com o objectivo de criar um interface *web* intuitivo e funcional, que possibilite fácil manutenção e reutilização, utilizou-se a linguagem PHP e o motor de base de dados *MySQL*, ambos de domínio público. O uso destas ferramentas evita que professores e alunos necessitem de *software* específico, sendo pré-requisito apenas o acesso à Internet, um *browser* com suporte de *frames* e *JavaScript*, e um cliente de *telnet* ou *SSH*.

Para otimizar a função do servidor http recorreu-se ao sistema operativo *Linux* com o servidor *web Apache* e exploraram-se várias opções relativamente às linguagens de programação (HTML, PHP, *JavaScript*, C, *shell script*, "cgi").

### 4.2 Ferramentas de software utilizadas

As ferramentas seleccionadas para auxiliar a implementação do protótipo são todas produtos "*software* livre". Na verdade, este foi o factor que mais pesou na sua selecção, não apenas por questões económicas, mas sobretudo pelo espírito de partilha e entre-ajuda que é característico da comunidade "*software* livre". Contudo, foram considerados outros

factores igualmente importantes na escolha das ferramentas, nomeadamente a segurança, a performance e a fiabilidade.

Depois da avaliação dos vários factores, foram então seleccionados os seguintes pacotes de *software*:

- Sistema operativo *Linux Debian 2.2*
- Servidor Web *Apache*<sup>13</sup>
- Sistema de gestão de base de dados *MySQL*
- Linguagem de programação PHP 4.0, com módulos para *MySQL* e *SNMP*
- Servidor de consolas *conserver*
- Filtro de pacotes *iptables*

As aplicações utilizadas incluem bastante documentação e portanto julgou-se não ser necessário descrever aqui pormenorizadamente cada uma delas. Contudo, tecem-se algumas considerações sobre a instalação e principais características das ferramentas utilizadas.

### 4.2.1 Servidor http (*Apache*, *MySQL* e *PHP*)

Para suportar o desenvolvimento da aplicação de apoio *web* (*cassiopeia@FEUP*), foi necessário compilar, instalar e configurar o servidor *web apache* com o módulo *mod\_php*, que serve para correr internamente *scripts* PHP [5]. Para auxiliar a criação de páginas *web* dinâmicas, foram ainda adicionadas as ferramentas PHP e *MySQL*. O PHP é um produto “*software livre*” muito utilizado para criação de páginas *web* dinâmicas. O código PHP é embebido no interior das páginas HTML, que são pré-processadas antes de serem enviadas para os utilizadores. O PHP possui uma biblioteca de funções muito completa que permite gerir sessões, aceder a bases de dados, utilizar funções de gestão de redes SNMP, executar programas externos entre outras funcionalidades também úteis. Quanto ao *MySQL*, é um motor de base relativamente simples, sem algumas das funcionalidades mais complexas que os produtos comerciais oferecem, como por exemplo, as transações e os *triggers*. Além de ser simples, o *MySQL* é extremamente rápido e implementa todas as características

---

<sup>13</sup> A seguir ao próprio *Linux*, o *Apache* é o produto “*software livre*” mais divulgado em todo o mundo [13].

necessárias na aplicação *cassiopeia@FEUP*. Outra vantagem em utilizar o *MySQL* reside no facto de a linguagem PHP possuir um conjunto de funções internas que permitem aceder a esta base de dados.

Os pacotes de *software* de domínio público utilizados foram obtidos a partir dos seguintes *sites*:

- *Apache* - servidor *web* (<http://httpd.apache.org/dist/>)
- *PHP* - *server side scripting language* (<http://www.php.net/downloads.php>)
- *Mysql* - SGBD *sql* (<http://www.mysql.com/downloads/> )

Todos os produtos foram instalados a partir da compilação do código fonte, para obter uma instalação mais estável. Constata-se que o processo de instalação dos vários pacotes é bastante interactivo, pelo que, antes de se iniciar o processo, é aconselhável ler a documentação de instalação, *READMEs*, *faqs*, *HOW-TOs*, *makefiles*, etc.

### 4.2.2 Servidor de consolas *conserver*

O servidor de consolas *conserver* é mais um produto “*software livre*” distribuído gratuitamente 0. Porém, as portas série que se utilizam com ele, infelizmente não o são, pois a solução de *hardware* encontrada para ligar as portas série utiliza servidores de terminais. Apesar deste tipo de equipamentos já existir desde o princípio dos anos 80, o custo por porta tem-se mantido elevado. Outras alternativas a estes equipamentos podem ser efectivamente as portas série dos PCs ou ainda cartas PCI com múltiplas portas série. Portanto, a opção feita pelos servidores de terminais deve-se essencialmente ao facto de ser uma solução mais robusta e fiável e permitir ligar um grande número de portas de uma forma compacta.

O processo de instalação do *conserver* também é bastante interactivo, mas a documentação distribuída juntamente com o código fonte auxilia bastante, descrevendo com pormenor todas as tarefas a executar, pelo que mais uma vez se recomenda a sua leitura antes do processo de instalação.

## 4.3 Base de Dados de apoio ao laboratório

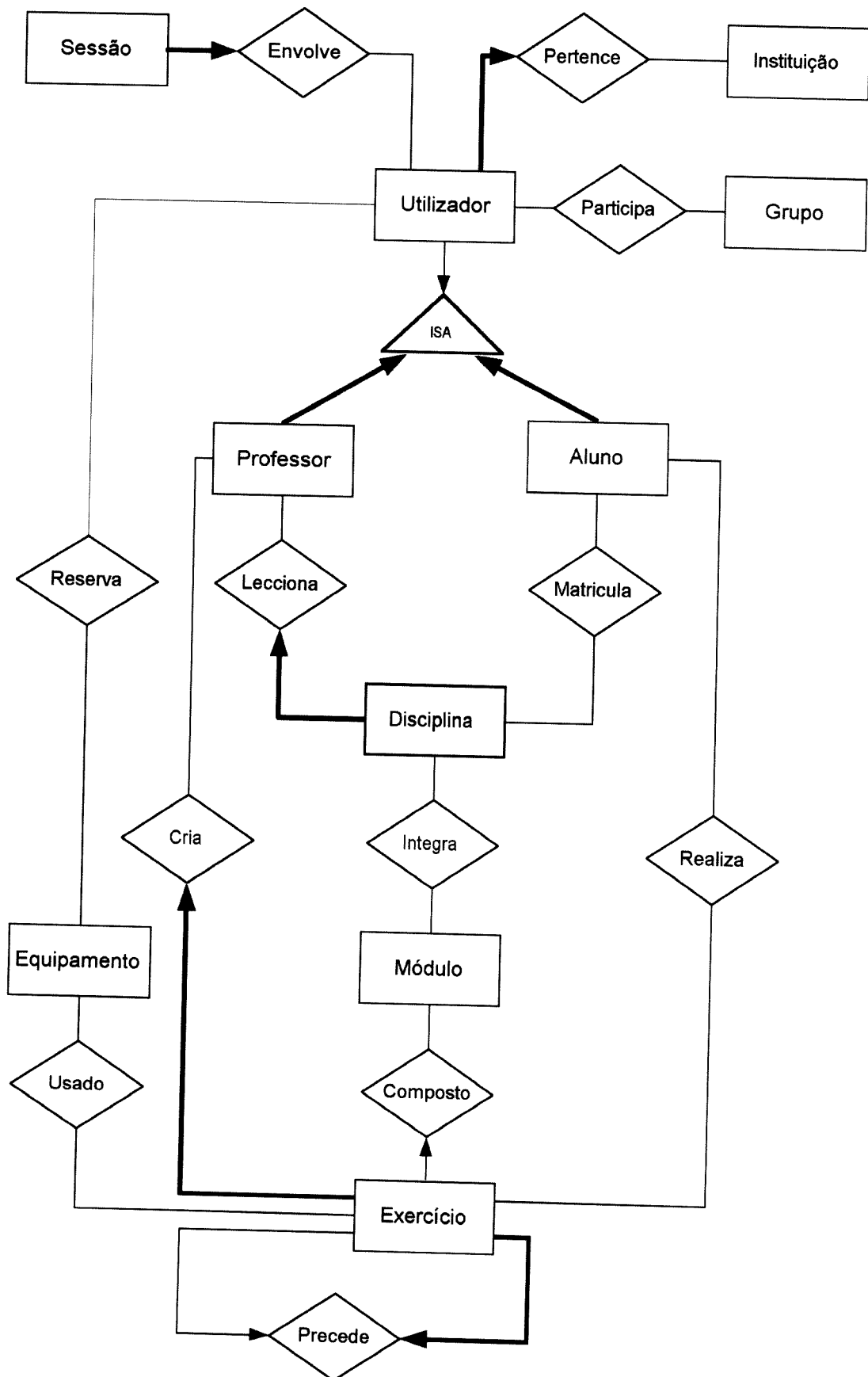
Para suportar a implementação do protótipo, foi necessário projectar a base de dados do laboratório, seguindo a análise de requisitos especificados na secção 3.7 para o ambiente de apoio *web*. A base de dados mantém informação sobre os utilizadores, a instituição a que pertencem, os grupos em que participam, a sessão que os identifica no sistema, as disciplinas, os módulos, os exercícios, os equipamentos de hardware e as reservas na agenda.

A base de dados de suporte ao laboratório é do tipo relacional, composta por dezassete tabelas. O projecto da base de dados foi desenvolvido em três fases: o projecto conceptual, o refinamento do esquema e o projecto físico.

### 4.3.1 Projecto conceptual usando o modelo Entidade-Associação

Esta fase consistiu no projecto conceptual da base de dados, onde foi usado o modelo EA (Entidade-Associação), para identificar as entidades e associações envolvidas e os atributos dessas entidades e associações. Foram ainda verificadas as restrições de integridade e outras regras.

O modelo EA da base de dados encontra-se representado graficamente na Figura 4.1, através do diagrama EA. No estudo efectuado para realização do projecto conceptual, constatou-se que existem algumas variações na notação utilizada para desenhar os diagramas EA, e parece não haver um *standard* que prevaleça como globalmente aceite. A representação aqui utilizada segue a mesma notação relacional utilizada em [14], por se considerar ser a mais representativa das famílias de modelos EA. Contudo, para simplificar a figura, não se apresentam os atributos das entidades e das associações.

**Diagrama Entidade-Associação (EA)**Figura 4.1 - Diagrama EA da base de dados do laboratório *eCassiopeia*.

### 4.3.2 Esquema relacional correspondente

Para se manter o seguimento da informação contida no diagrama EA da Figura 4.1, o modelo de dados foi convertido no esquema relacional:

#### Entidades

- ❖ Aluno(id\_utilizador)
- ❖ Disciplina(sigla, nome, *id\_professor*, ano, semestre, url, observações)
- ❖ Equipamento(id, tipo, nome, classe, modelo, fabricante, n\_serie, end\_mac, consola, observações)
- ❖ Exercício(id, *id\_professor*, *id\_modulo*, nome, objectivo, data\_inicio, data\_fim, duração, url\_imagem, url\_prelab, url\_lab, url\_poslab, url\_outros, anotações)
- ❖ Grupo(id, nome, categoria, descrição, observações)
- ❖ Instituição(sigla, nome, morada, localidade, cod\_postal, telefone, fax, url)
- ❖ Módulo(id, nome, descrição, observações)
- ❖ Professor(*id\_utilizador*)
- ❖ Sessão(id, *id\_utilizador*, end\_ip, inicio\_sessão, modo\_seguro)
- ❖ Utilizador(id, nome, sobrenome, login, passwd, data\_nasc, morada, localidade, cod\_postal, país, email, telefone, telem, url, tipo\_acesso, *sigla\_instituição*, idioma, observações)

#### Associações

- ❖ integra(*sigla\_disciplina*, *id\_modulo*)
- ❖ Matricula(*id\_aluno*, *sigla\_disciplina*, data, hora)
- ❖ Participa(*id\_grupo*, *id\_utilizador*)
- ❖ Precedencias(*id\_exercício*, *id\_exercício\_anterior*)
- ❖ Realiza(*id\_aluno*, *id\_exercício*, data\_inicio, hora\_inicio, data\_fim, situação, nota, observações)

- ❖ Reserva(data, hora\_inicio, hora\_fim, id\_utilizador, id Equipamento, nome\_evento, comentário, observações)
- ❖ Usado(id exercício, id equipamento)

**Legenda:** No esquema relacional, os campos sublinhados representam chaves primárias e os campos em itálico representam chaves estrangeiras.

### Refinamento do esquema

A entidade *utilizador* é uma generalização das duas sub-entidades especificadas no diagrama EA: *professor* e *aluno*. Apesar de estas entidades terem os mesmos atributos em comum, é necessário criar uma tabela especializada para cada uma, para efeitos de verificação de integridade.

A tabela **equipamento** mantém a informação relativa aos equipamentos, que podem ser de teste ou de produção. A distinção é efectuada pelo campo *tipo*.

A tabela **sessão** mantém a informação para controlo das sessões dos utilizadores. Esta tabela foi incluída no diagrama EA, porque é utilizada pelo mecanismo de controlo de acessos.

### 4.3.3 Projecto físico da base de dados

A partir do modelo relacional, foi desenvolvido o projecto físico da base de dados e implementado no SGBD *MySQL*. Com o objectivo de facilitar a criação das tabelas na base de dados, escreveu-se um *script* em SQL (*Struct Query Language*), para gerar as tabelas e os índices.

De modo a se manter o seguimento da informação contida no modelo relacional, no anexo 1, são apresentados os dicionários de dados relativos a cada uma das tabelas criadas.

### Interface com a base de dados

A comunicação da aplicação *cassiopeia@FEUP* com a base de dados faz-se através do módulo *mysql* do PHP, que disponibiliza um conjunto consistente de funções que permitem aceder à base de dados *MySQL*. O uso deste módulo tem a vantagem de funcionar integrado com o servidor *web apache*, evitando assim a utilização de *scripts CGI* menos seguros e eficientes.

## 4.4 Implementação do controlo de acessos

Para implementar o controlo de acessos aos recursos do laboratório, utilizou-se um *firewall* baseado em *Linux* (*iptables*).

O *iptables* foi configurado de acordo com as regras especificadas na sub-secção 3.6.2 do capítulo 3, de modo a permitir acessos do exterior apenas ao servidor Apache. Todos os outros serviços são considerados não públicos, daí o acesso do exterior estar condicionado. Isto significa que um pedido de conexão, a partir da Internet, para um serviço não público, como o *telnet* ou SSH, é por defeito rejeitado. O acesso a estes serviços só é desbloqueado para os utilizadores autenticados e durante o período previamente reservado na agenda do laboratório. Isto obriga a uma configuração dinâmica do *iptables*, que é efectuada pelo servidor Apache através de um serviço desenvolvido especificamente para o efeito, designado de *labkeeper*.

### 4.4.1 Serviço *Labkeeper*

Para configurar dinamicamente o *iptables*, desenvolveu-se um serviço cliente/servidor chamado *Labkeeper*, que é composto por um programa cliente *clabkeeper*. Este comunica via *sockets*<sup>14</sup> com um programa servidor *labkeeper.sh* que funciona como “guarda do laboratório”, inserindo e removendo as regras necessárias no *iptables* para desbloquear ou bloquear os endereços IP dos computadores clientes. Este serviço é executado pelo servidor *Apache*, de modo a adicionar e remover as regras no *iptables*.

```
# clabkeeper 193.137.7.3 on (como root)
```

```
IP 193.137.7.3 accept on
```

Ilustração 1 – Definição de uma regra no *iptables*, através do serviço *Labkeeper*.

O programa cliente *clabkeeper*, aceita como argumentos o endereço IP do computador remoto seguido da opção *on/off*.

No início de um exercício, o programa cliente é executado pelo servidor *Apache* com a opção *on*. Desta forma, o programa servidor adiciona uma regra no *iptables*, através do

<sup>14</sup> Os *sockets* são uma metodologia de software usada para interligar diferentes processos (programas) no mesmo computador ou em computadores diferentes.

comando *iptables -I INPUT -p tcp -s \$1 -d \$IP\_Servidor\_consolas --destination-port telnet -j ACCEPT* que desbloqueia o endereço IP especificado no primeiro argumento, \$1, de modo a abrir o acesso por *telnet* ao servidor de consolas. De forma análoga, a opção *off* corresponde ao comando *iptables -D INPUT -p tcp -s \$1 -d \$IP\_Servidor\_consolas --destination-port telnet -j ACCEPT* que elimina a regra inserida pelo comando anterior, bloqueando de novo o endereço IP especificado no argumento.

A Ilustração 2 apresenta um excerto do código PHP utilizado pelo servidor *Apache* para invocar as regras no *iptables*, através do serviço *Labkeeper*. A função *passthru()* do PHP permite que o programa cliente *labkeeper-c* seja executado directamente pelo servidor *Apache* e a variável ambiente *\$REMOTE\_ADDR* permite identificar o endereço IP do computador remoto [5].

```
// labkeeper.php - Cassiopeia@FEUP 1.0
<?php
require("config.inc.php");
$result = mysql_db_query($DB,"select evento, hora_inicio, hora_fim from reserva where id_utilizador = 'Suser_ID' and
data = '$data' and hora_inicio = '$hora_ini'");
while ($row = mysql_fetch_row($result)) {
    $exercicio= $row[0];
    $hora_final=$row[2];
    $tempo_inicio= substr($row[1],0,2)*60+substr($row[1],2,2);
    $tempo_fim = substr($row[2],0,2)*60+substr($row[2],2,2);
    $tempo_actual = date("H",mktime())*60 + date("i",mktime());
}
// Verifica se está dentro do periodo reservado na agenda
if ( ($tempo_actual >= $tempo_inicio) and ($tempo_actual < $tempo_fim)) {
    $tempo_r = $tempo_fim - $tempo_actual; // **** Cálcula o tempo remanescente para o exercício
    echo "Tempo remanescente para o exercício ".$exercicio.: ". $tempo_r. " minutos";
    echo "<br>";
    echo "O exercício termina às ".$hora_final. " horas.<br>";
    // Abre as portas de telnet e SSH no iptables, para o IP remoto
    passthru("/usr/local/lab-keeper/clabkeeper $REMOTE_ADDR on");
    // Fecha as portas de telnet e SSH no iptables, para o IP remoto, quando o tempo reservado termina
    passthru("/bin/echo /usr/local/lab-keeper/clabkeeper $REMOTE_ADDR off | /usr/bin/tee /tmp/ip-off");
    passthru("at now + $tempo_r minutes -f /tmp/ip-off");
}
else { echo "<body marginheight=0 marginwidth=0 bgcolor=$bgcolor3 >\n";
    echo "<table cellpadding=0 cellspacing=0 border=0>\n";
    echo "Atenção... O exercício ".$exercicio. " não pode ser realizado porque o tempo terminou!";
    echo "</table>";
}
?>
</html>
```

Ilustração 2 –Excerto de uma página html com código php embutido que quando executada pelo servidor *apache*, configura as regras no *firewall iptables*, através do serviço *Labkeeper*.

O comando *at* executa comandos a uma hora pré-determinada<sup>15</sup>. Este comando do sistema operativo é usado para executar automaticamente o *script labkeeper-c* com a opção *off*, quando o tempo remanescente para a realização do exercício (*\$tempo\_r*) termina. Nesse momento, as conexões do utilizador com o servidor de consolas e com o equipamento são cortadas pelo *firewall*. De notar que na linha do *script*, o comando *labkeeper-c \$REMOTE\_ADDR off* é colocado num ficheiro temporário */tmp/ip-off*, para depois ser redireccionado para o comando *at*.

A variável *\$tempo\_r* contém o tempo remanescente (em minutos) para a resolução do exercício. Este valor é calculado subtraindo à *hora\_final* marcada na agenda, a hora actual do sistema. Antes de se fazer a diferença, as horas são convertidas para minutos. Se o resultado da subtracção for negativo, significa que o tempo que estava reservado para o exercício expirou, e o *labkeeper* não é executado.

$$\text{tempo\_actual} = \text{hora\_actual} * 60 + \text{minutos} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{tempo\_fim} = \text{hora\_fim} * 60 + \text{minutos} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{tempo\_r} = \text{tempo\_fim} - \text{tempo\_actual} \quad (\text{Eq. 3})$$

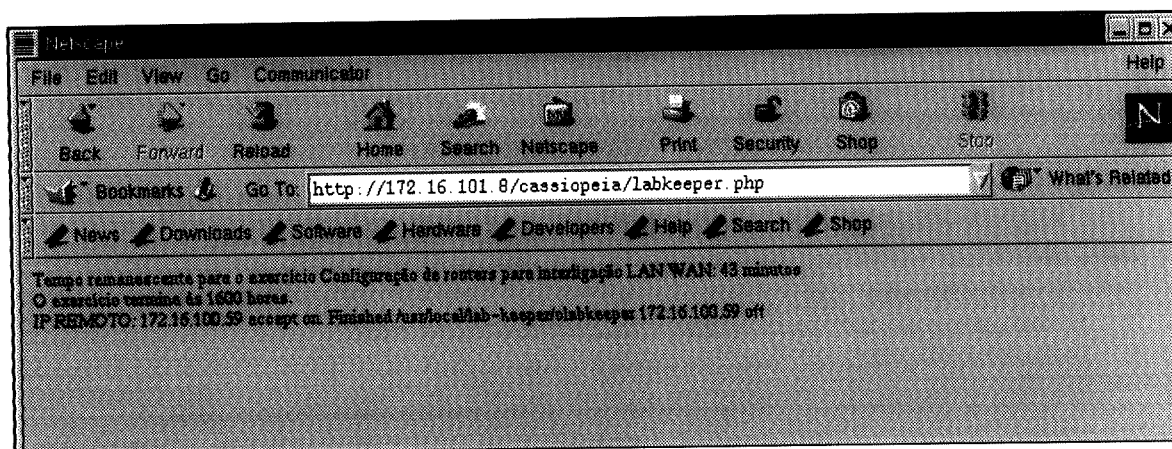


Figura 4.2 - Execução do serviço Labkeeper pelo servidor apache, no início de um exercício.

Com o serviço *labkeeper*, desbloquear e bloquear um endereço IP no *iptables*, demora cerca de 5 segundos e esta tarefa passa a ser executada de forma automática, pois é efectuada pelo servidor *Apache*, que define as regras remotamente no *firewall iptables*.

<sup>15</sup> A especificação da hora pode ser feita em vários formatos, como por exemplo HH:MM. Neste caso é utilizado o comando *#at now + MM*.

### Configuração do *iptables* pelo servidor *Apache*

Uma dificuldade que surgiu durante a implementação do controlo de acessos foi fazer com que o serviço *labkeeper* fosse executado automaticamente pelo servidor *web Apache*, como um programa CGI. Por questões de segurança, o servidor *Apache* funciona habitualmente com a identidade de utilizador *nobody*, que possui um nível de privilégios muito baixo. Assim, os *scripts* CGI lançados pelo servidor *Apache*, correm também com a identidade do utilizador *nobody*. Surge assim o problema de este utilizador não ter privilégios para configurar o *iptables* e, consequentemente, também não pode executar o programa *labkeeper*. O servidor *Apache* tem um mecanismo que visa solucionar este problema. O *suExec* (*Switch User before Executing*) é uma extensão do *Apache* que possibilita a execução de programas CGI com a identidade de qualquer utilizador que se pretenda, com a excepção do utilizador *root*. Como o *iptables*, por questões de segurança, tem que ser configurado com privilégios de *root*, este utilitário também não soluciona o problema. Uma outra alternativa consiste em correr o servidor *Apache* com a identidade de utilizador *root*, mas essa hipótese foi imediatamente rejeitada, porque seria uma falha grave de segurança.

Assim, a solução encontrada passou por criar um serviço cliente/servidor, em que um programa servidor é exposto através de um *socket*<sup>16</sup> e ligado a um porto específico<sup>17</sup>, definido no ficheiro */etc/services*. A comunicação entre o programa cliente e o programa servidor é feita via *xinetd* [25]

O programa cliente, quando é executado no servidor *Apache*, liga o seu próprio *socket* com o *socket* do programa servidor que corre no sistema *Linux firewall*, onde escreve o endereço IP do computador remoto e a opção on/off. A informação que o cliente escreve no *socket* é lida pelo *stdin* do programa servidor. Por sua vez, o *stdout* do programa servidor é lido pelo programa cliente através de uma operação de leitura no *socket*. Desta forma, o output do programa servidor aparece no output do programa cliente. A Figura 4.3 ilustra o funcionamento do serviço. Com este serviço contorna-se o problema das permissões para configurar o *iptables*, uma vez que o programa servidor *labkeeper.sh* é agora executado com privilégios de *root* a pedido do servidor *Apache*. Por questões de segurança, é importante ter o cuidado de bloquear o acesso ao serviço *labkeeper* a partir do

---

<sup>16</sup> Os sockets são uma metodologia de software usada para interligar diferentes processos (programas) no mesmo computador ou em computadores diferentes.

<sup>17</sup> No protótipo foi usado o porto 3123.

exterior. Isso é feito primeiro lugar no *screening router* que bloqueia o porto 3123 a todas os endereços IP que vêm do exterior e em segundo lugar no *firewall* que só abre o porto 3123 para o servidor http.

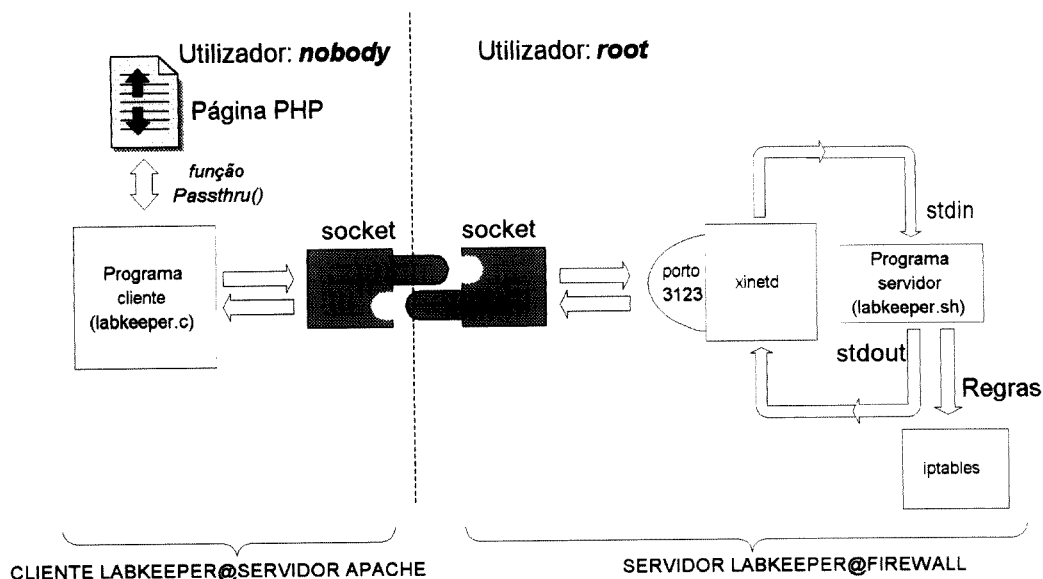


Figura 4.3 Diagrama do serviço cliente/servidor labkeeper, via xinetd

### Shellscript labkeeper.sh

```
#!/bin/bash
source ##PREFIX##/share/firewall_dinamico.sh
# Lê o endereço IP e a opção on/off, enviados pelo servidor Apache, do stdin.
read IP
read MOD0
if [ "$MOD0" == "on" ]
then
    #As regras são inseridas em modo normal, para ficarem no início da lista
    INSERT="-I"
    verifica_ip ip $IP "$IP já está desbloqueado" on
    grava_ip ip $IP
elif [ "$MOD0" == "off" ]
then
    #Com a opção off as regras são removidas
    INSERT="-D"
    verifica_ip ip $IP "$IP não está bloqueado" off
    remove_ip ip $IP
else
    echo "Erro: \"off\" ou \"on\" é esperado como argumento"
    exit 1
fi
# Insere ou remove a regra no iptables, consoante INSERT="-I" ou INSERT="-D"
# Desbloqueia ou bloqueia o endereço IP pretendido
iptables $INSERT INPUT -s $IP -p tcp -d 192.168.103.50 --destination-port telnet -j ACCEPT
iptables $INSERT INPUT -s $IP -p tcp -d 192.168.103.50 --destination-port ssh -j ACCEPT
echo "IP REMOTO: ${IP} accept ${MOD0}."
```

### Análise do *script*

As últimas linhas a *bold* da Ilustração 3 representam os comandos que inserem as regras apropriadas na tabela do *iptables*. Como se pode observar, a variável *\$INSERT* varia, consoante o valor da variável *MODO* é *on* ou *off*. Quando a linha é executada, as regras são inseridas ou removidas respectivamente. Se o *script* for executado no modo *on*, o endereço IP ficará desbloqueado para aceder por *telnet* ou *ssh* ao servidor de consolas. Se, por outro lado, o *script* for executado no modo *off*, o endereço IP ficará bloqueado para *telnet* e *ssh*, acabando por cortar a conexão com um *time out*.

O *script* faz chamadas para as funções *verifica-ip*, *remove\_ip* e *grava\_ip*. Estas são funções *bash* que estão definidas num sub-script *firewall-dinamico.sh*. A função *grava\_ip* regista o endereço ip desbloqueado no ficheiro */root/fwdin-ip-on*, enquanto que a função *remove\_ip* elimina a entrada do mesmo ficheiro. Quanto à função *verifica\_ip*, esta é usada para cancelar a execução do *script*, enviando uma mensagem de erro, no caso de se tentar desbloquear um endereço já desbloqueado, ou bloquear um endereço já bloqueado.

### Programa cliente

O programa cliente *labkeeper-c* foi implementado em linguagem C. Consiste numa rotina que inicializa um *socket* com ligação e interage com o programa servidor, de modo a passar-lhe o endereço IP e a opção *on/off*. Exemplos de programas semelhantes podem ser encontrados em [16].

#### 4.4.2 Autenticação do computador remoto

Para que o *iptables* possa bloquear ou desbloquear o acesso remoto por *telnet* ao servidor de consolas, deve-se identificar os endereços IP dos computadores clientes. Como já foi referido anteriormente, a variável *\$REMOTE\_ADDR* identifica o endereço IP do cliente. Porém, ao contrário do que seria desejável, a autenticação do computador remoto não pode ser efectuada unicamente através da verificação do endereço IP, uma vez que este pode não ser único na Internet. Com efeito, os servidores de *proxy* podem fazer com que os pedidos de ligação de vários computadores remotos venham do mesmo endereço IP. Neste caso, será o endereço do servidor de *proxy* que é identificado. Ao definir uma regra no *iptables* que aceite os pacotes *telnet* daquele endereço IP em particular, automaticamente todos os outros utilizadores que acedem pelo mesmo *proxy* ficam com a porta do *telnet* aberta.

Contudo, esses utilizadores não vão conseguir ter acesso ao equipamento do laboratório sem autorização, porque no servidor de consolas existe um *login* por cada consola. Assim quando o utilizador faz o *login*, o seu perfil é analisado e o *tty* é redireccionado para a consola respectiva. A *password* associada a este *login* é gerada automaticamente pelo sistema e só é válida durante o período estimado para a realização do exercício. No final do exercício a *password* volta a ser alterada pelo sistema. Mesmo que um utilizador passe pelo *firewall* e tente entrar por *telnet* no servidor de consolas, não vai conseguir fazer o *login* no sistema porque não sabe a *password*. Assim, só os utilizadores que se autenticam no servidor http é que têm acesso às *passwords*, que só são válidas durante aquele exercício.

### Controlo das sessões

Por questões de segurança, também só é permitida uma sessão na aplicação por cada utilizador. Isso é conseguido implementando seguinte algoritmo:

1. O ID do utilizador, o ID da sessão (\$PHPSESSID) e o endereço IP (\$REMOTE\_ADDR) são armazenados numa tabela da base de dados.
2. Em cada página, verificar se o endereço IP, o ID do utilizador e o ID da sessão são os mesmos da tabela.
3. Se o ID da sessão é diferente, então verificar o endereço IP.
4. Se o endereço IP é o mesmo, então autorizar, senão negar o acesso.

Ilustração 4 - Algoritmo para autenticação da sessão do utilizador, através do endereço IP

Para implementar este controlo das sessões adicional é utilizada a tabela *sessão* especificada no projecto conceptual da base de dados, apresentado na secção 4.3.

## 4.5 Implementação do ambiente de apoio *web*

Com o objectivo de testar a resolução dos exercícios no laboratório de redes remoto, desenvolveu-se uma aplicação, designada *Cassiopeia@FEUP*, que serve de plataforma para o laboratório remoto. Integraram-se ainda com esta aplicação, alguns módulos da aplicação *PHPProjekt*<sup>18</sup> [32], de modo a disponibilizar aos alunos e docentes algumas ferramentas de comunicação colaborativa, nomeadamente, o *chat*, o fórum e o *e-mail*. Estas ferramentas são utilizadas pelos alunos para colaborar com outros colegas e com os professores, enquanto realizam os exercícios.

O ambiente de apoio *web* implementado apresenta as seguintes características:

- Tem uma página inicial onde é feita a autenticação dos utilizadores;
- Fornece aos alunos e professores um catálogo, onde visualizam e seleccionam os exercícios disponíveis, agendados e já realizados;
- Fornece aos utilizadores uma agenda que permite reservar os exercícios e os recursos associados para um determinado dia e hora;
- Fornece materiais e equipamentos para a realização dos exercícios;
- Periodicamente, avisa os alunos do tempo remanescente para a resolução do exercício;
- Disponibiliza aos professores um formulário para criar novos exercícios;
- Integra mecanismos de comunicação via correio electrónico, fórum de discussão e *chat* em tempo real;

### 4.5.1 Exercício demonstração

Com o objectivo de efectuar alguns testes preliminares no protótipo e observar os efeitos da realização de um exercício remoto, preparou-se um exercício de demonstração designado (*Configuração de routers para Interligação LAN WAN*).

Este exercício utiliza os seguintes recursos de *hardware*: um *router* baseado em *Linux*, um *router Cisco* e um *host Linux*. A topologia utilizada para interligar os

---

<sup>18</sup> O *PHPProjekt* é uma aplicação modular para a coordenação de actividades de grupo e para partilhar informação e documentos via *intranet* e *internet*. Esta aplicação foi desenvolvida em PHP e é “*software livre*”.

equipamentos, pode ser observada na Figura 4.10. O objectivo deste exercício é configurar a estação GW1 como *gateway* entre as duas redes IP. A experiência realiza-se em ambiente *Linux* e desenrola-se nos seguintes passos:

1. Configuração de uma rede com *routers* e *hosts Linux*;
2. Configuração manual de rotas de encaminhamento;
3. Activação do protocolo de encaminhamento RIP;
4. Avaliação do trabalho.

### Utilitários de diagnóstico da rede

No início do exercício os alunos precisam de fazer um diagnóstico ao funcionamento da rede utilizada no exercício, de modo a detectarem os vários problemas que esta pode apresentar. Para isso utilizam os comandos: (*route*, *netstat*, *ifconfig*, *ping* e *arp*) [12]. No final da configuração dos vários equipamentos, devem testar o funcionamento da rede, de modo a poderem avaliar o seu desempenho. Neste caso concreto a avaliação é feita recorrendo aos comandos de diagnóstico da rede (*ping* e *traceroute*).

De seguida apresentam-se os vários interfaces da aplicação desenvolvida e utiliza-se o exercício de demonstração, para ilustrar melhor a forma como o laboratório funciona.

### 4.5.2 Interface da aplicação *cassiopeia@FEUP*

A aplicação *Cassiopeia@FEUP* consiste em vários módulos, em que o acesso depende do tipo de utilizador, que pode ser aluno, professor ou o administrador. Para acesso ao laboratório remoto, é necessário que o utilizador se encontre previamente registado. A Figura 4.4 apresenta a janela inicial para acesso ao sistema.

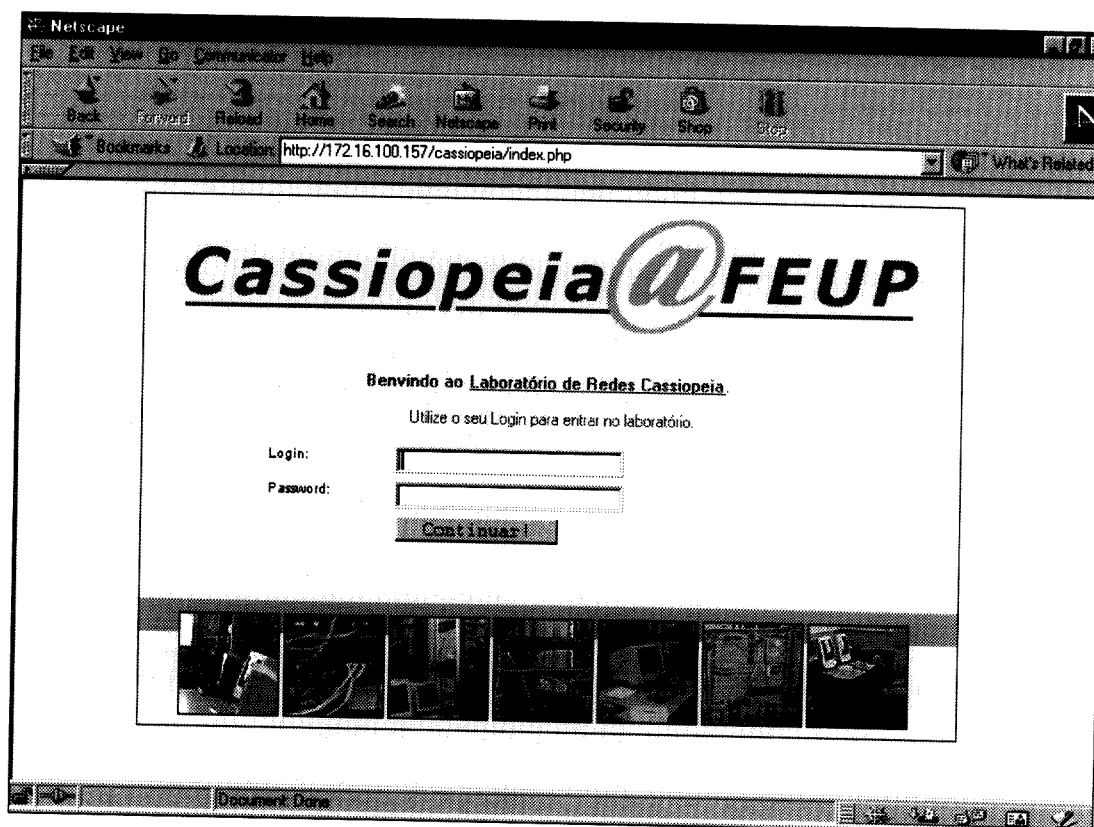


Figura 4.4 - Página inicial de acesso ao laboratório

Nesta janela, os utilizadores já registados devem inserir seu *login* e *password* para aceder ao laboratório. Caso ainda não sejam utilizadores registados, devem contactar o professor/administrador para obterem um *login* e *password*. Note-se que a opção de auto-registo dos alunos, embora tenha sido prevista no modelo, ainda não se encontra implementada no protótipo. Quando o utilizador insere um *login* e *password* válidos, ganha acesso ao servidor do laboratório remoto.

Todos os utilizadores entram pela mesma página, mas dependendo do seu tipo de acesso, vão poder aceder a funcionalidades diferentes.

## Catálogo de exercícios

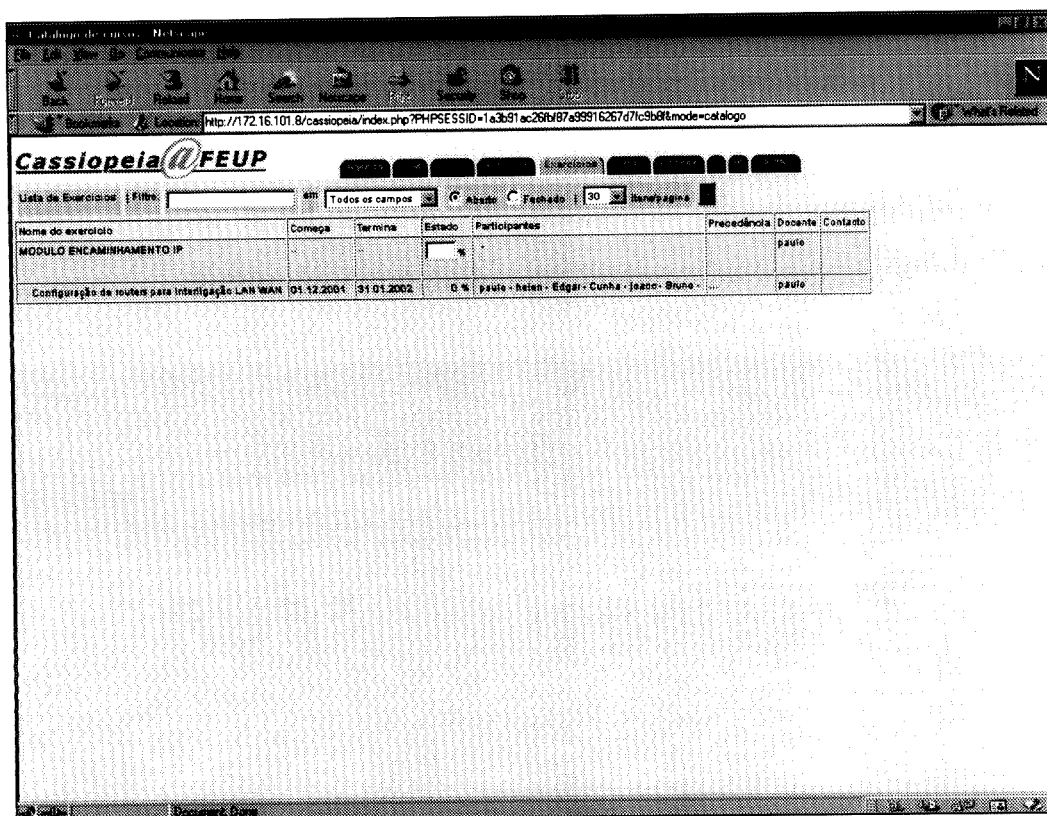


Figura 4.5 - Catálogo de exercícios agendados e disponíveis

Depois de fazer o *login*, o aluno acede a uma área da aplicação que se apresenta dividida em duas *frames*. A *frame* superior apresenta o menu principal da aplicação, que permite aceder à agenda, ao *chat*, ao fórum, aos arquivos, à página dos exercícios, ao *e-mail*, e à página de opções, e terminar a sessão, fazendo *logout* da aplicação. Os separadores do menu “arquivos” e “opções” ainda não se encontram activos.

A *frame inferior* apresenta uma página personalizada para o utilizador que mostra a lista com os exercícios já realizados e os exercícios disponíveis. Nesta página, o aluno pode seleccionar o exercício que pretende realizar, ou consultar exercícios já realizados. As hiperligações para os exercícios só aparecem activas depois destes terem sido reservados na agenda e durante o período reservado. Posteriormente, os alunos vão também ter a possibilidade de consultar a documentação e os resultados dos exercícios já realizados. Os exercícios são organizados por módulos, aparecendo na primeira linha o nome do módulo e só depois, nas linhas seguintes, os exercícios que pertencem a esse módulo.

Se o utilizador for o professor, tem ainda disponível nesta página um botão que lhe permite aceder a um formulário para criar novos exercícios ou alterar exercícios já existentes.

## Introdução de novos exercícios

**Cassiopeia@FEUP**

Nome do exercício:

Começo (m-m-d):

Termino (m-m-d):

Subexercício de:

Docente:

Contacto:

Participantes:

Equipamento:

Precedência:

Duração (min):

**Objectivo:**  
Configurar uma rede com hosts e routers Linux

**Pre-lab:**  
<http://172.16.101.8/cassiopeia/docs/prelab1.htm>

**Lab:**  
[http://172.16.101.8/cassiopeia/docs/TPI\\_routing.htm](http://172.16.101.8/cassiopeia/docs/TPI_routing.htm)

**Pós-Lab:**  
<http://172.16.101.8/cassiopeia/docs/tcpip/index.html>

**Links:**

**Imagem\_topologia:**  
<http://172.16.101.8/cassiopeia/docs/console.php>

**Anotações:**  
Neste exercícolo a imagem com a topologia é chamada por uma página PHP

Figura 4.6 - Formulário para criação de novos exercícios

Os professores podem adicionar novos exercícios através do formulário mostrado na Figura 4.6. Este formulário só se encontra disponível para os professores. Para isso, deve preencher o nome do exercício, a data em que o exercício vai ficar disponível e a data limite em que o exercício deixa de estar disponível. Estas datas permitem limitar a realização dos exercícios em determinados períodos. Depois a caixa de selecção seguinte permite escolher o módulo a que o exercício vai ficar associado. Depois o professor, deve-se auto-seleccionar e seleccionar também os alunos que podem ter acesso ao exercício. Na caixa de selecção *Equipamento*, selecciona-se o equipamento que vai ficar associado ao exercício e pressionando a tecla *Ctrl* podem-se seleccionar vários equipamentos.

A caixa de selecção *precedência* vai servir para criar precedências nos exercícios, para obrigar os alunos a terminarem os exercícios anteriores, antes de avançarem para os seguintes. As precedências são opcionais e no protótipo ainda não estão a funcionar, embora na base de dados já tenha sido criada uma tabela para esse efeito.

As caixas de texto que aparecem no lado direito servem para descrever o objectivo e colocar hiperligações para os documentos de apoio ao exercício.

## Agenda

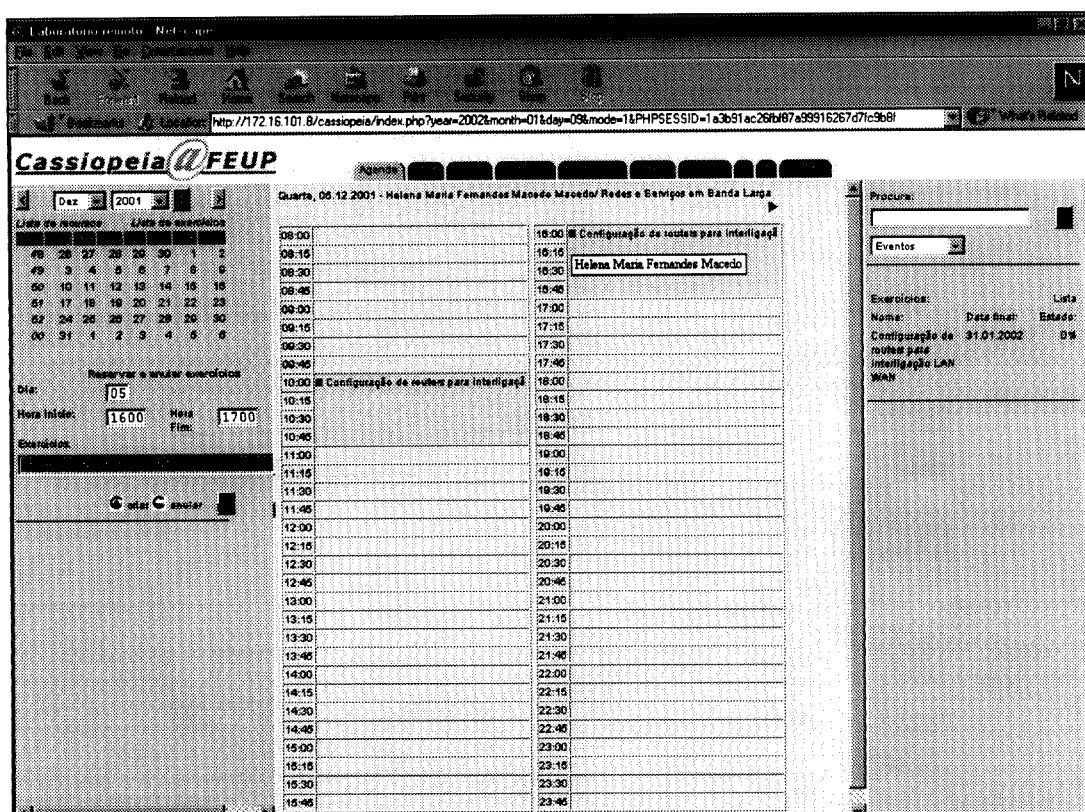


Figura 4.7 - Janela com a agenda do laboratório

Quando o utilizador recebe acesso a um exercício, tem que reservar um dia e hora na agenda para a sua realização. A agenda é acedida através do menu principal da aplicação e começa sempre por mostrar a ocupação para o dia actual. Se o utilizador pretender outro dia, pode seleccioná-lo directamente no calendário da agenda, que passa a mostrar o dia escolhido, com indicação dos períodos livres e ocupados. O utilizador pode reservar a hora pretendida directamente no menu do calendário. A reserva efectuada é armazenada na base de dados. Esta informação é depois usada pelo mecanismo de controlo de acessos, para na hora marcada permitir acesso exclusivo ao exercício e aos recursos, e na hora pré-determinada para terminar o exercício, cortar a conexão com o servidor de consolas e consequentemente aos equipamentos do laboratório.

No caso do utilizador pretender anular uma reserva, pode fazê-lo através do menu do calendário, na opção "anular". As alterações são um caso particular das anulações. É possível implementar uma regra que só autorize anulações quando efectuadas com uma antecedência mínima prevista, por exemplo até 8 horas antes do início do exercício. Neste caso e, se o aluno anular a reserva depois, pode ser penalizado, ficando por exemplo com menos tempo disponível para a realização daquele exercício.

A agenda pode também ser parametrizada pelo administrador do sistema, para só permitir marcações durante alguns períodos do dia. Esta função é importante para conciliar a utilização local do laboratório com a utilização remota. Assim, durante o período normal do dia, por exemplo, das 8:00 às 19:00 horas, o laboratório é utilizado localmente, não devendo ser utilizado remotamente. Neste caso, a agenda do laboratório só vai mostrar disponível para marcação, o período nocturno, das 19:00 às 8:00 da manhã. Uma alternativa a esta solução poderá consistir em utilizar a agenda para fazer reservas tanto para a utilização remota como para a utilização local do laboratório. Assim, em ambos os casos, vai ser necessário planear a utilização do laboratório com antecedência.

Depois de ganharem acesso a um exercício, através do catálogo de exercícios apresentado na Figura 4.5, os alunos chegam à janela da Figura 4.8. que está dividida em três *frames*. A *frame* do topo apresenta o menu principal da aplicação. A *frame* do lado esquerdo apresenta o menu do exercício, enquanto a documentação e instruções para a realização do exercício são apresentadas na *frame* do lado direito.

## Pré-Lab

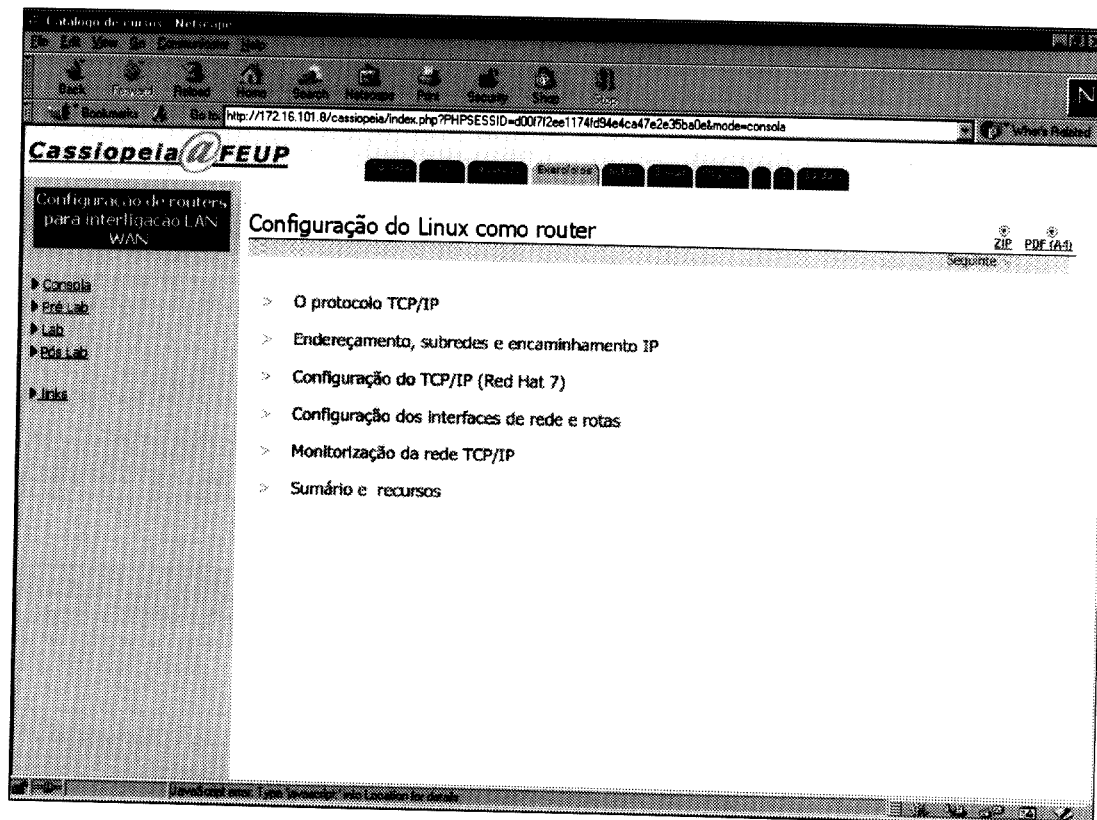


Figura 4.8 - Pré-lab. Neste exercício integrou-se um *tutorial* com os conceitos teóricos e a documentação necessários para a realização do exercício

Nesta fase o objectivo é a aquisição/revisão dos conceitos teóricos necessários para a realização do exercício. Com o objectivo de auxiliar os alunos na realização dos exercícios, é disponibilizada documentação sobre os conceitos teóricos relacionados. Esta documentação é acedida no menu do exercício, através da hiperligação **Pré-Lab**. Esta documentação pode ser disponibilizada em vários formatos, como por exemplo, HTML, PDF ou simplesmente como uma hiperligação para outro *site*. No exemplo apresentado, o documento está no formato HTML, mas também pode ser feito o *download* do ficheiro em formato *pdf* (*portable document format*). Opcionalmente, podem ser disponibilizados uma série de materiais didácticos de apoio, tal como os acetatos das aulas, ou hiperligações para outros conteúdos ou *sites* com informação essencial.

## Lab

Na hiperligação **Lab** o aluno encontra o enunciado que contém uma descrição dos objectivos do exercício e a sequência dos passos que devem ser seguidos de modo a atingir os objectivos.

**Cassiopeia@FEUP**

Configuração de routers para interligação LAN WAN

1. Objectivo

O objectivo deste exercício é permitir a familiarização dos alunos com a configuração de *routers* em ambiente Linux. A experiência desenrola-se nos seguintes passos:

1. Configuração de uma rede com *hosts* e *routers* Linux,
2. Configuração manual de rotas de encaminhamento,
3. Configuração automática de rotas de encaminhamento usando o RIP,
4. Avaliação do trabalho

2. Configuração da rede com *routers* e *hosts* Linux

Será utilizada a topologia de rede abaixo, que utiliza dois sistemas Linux e um *router* cisco2500. A rede ilustra uma situação em que uma rede privada de uma empresa (192.168.100.0/24) se encontra ligada através de uma rede "pública" (172.19.30.0/16) à Internet. O gw1 tem dois interfaces de rede e deve ser configurado como *router*, com um interface ligado à rede pública (172.19.30.0) e o segundo interface ligado ao host1 (que é referido como posto de trabalho), através de um cabo UTP *crossover*.

Diagrama de Topologia de Rede:

- Router gw1 (Linux) conectado a Rede privada (192.168.100.0/24) via Eth1.
- Router gw1 conectado a Rede pública (172.19.30.0/16) via Eth0.
- Rede pública conectada a Router Cisco2500 via 172.19.254.254.
- Router Cisco2500 conectado à Internet.

Figura 4.9 - Janela com o enunciado do exercício (Lab)

## Consola do exercício

A consola do exercício apresenta uma imagem da topologia da rede utilizada no exercício. Nesta página, o aluno tem acesso às consolas dos equipamentos através de sessões de *telnet* que se abrem directamente a partir do *browser*. O aluno só tem acesso aos equipamentos que estão reservados para o seu exercício.

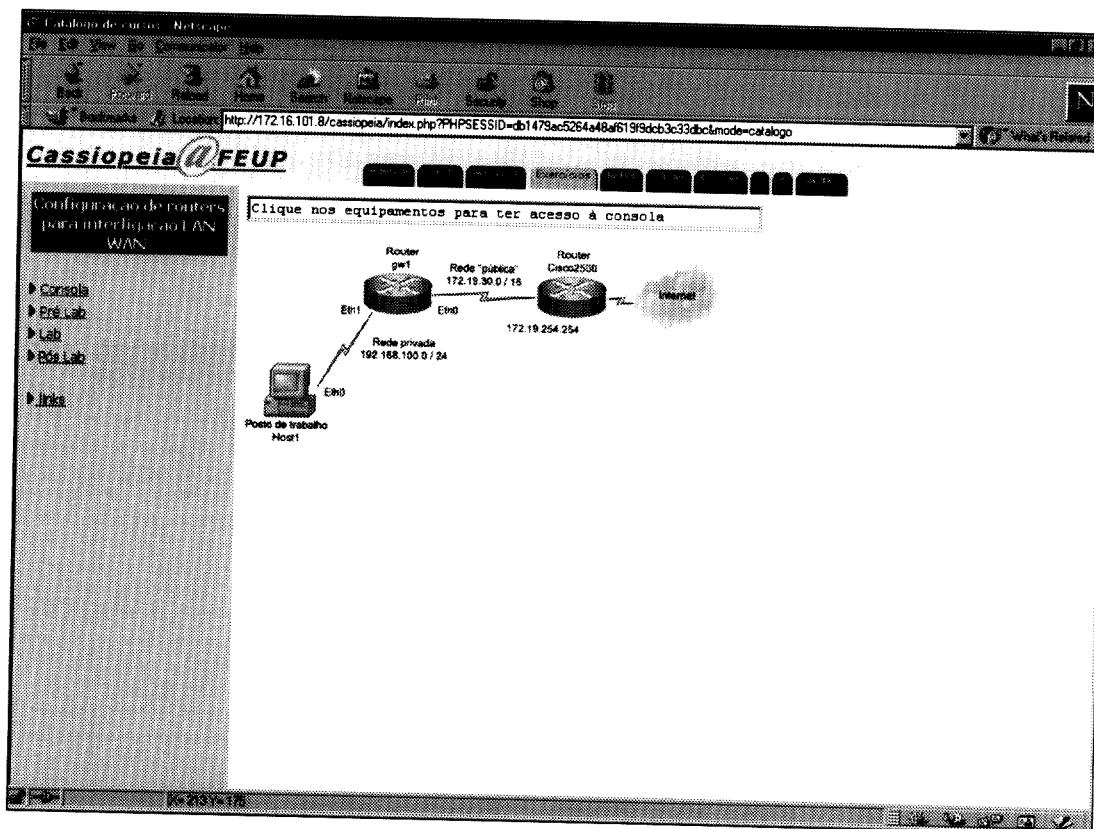


Figura 4.10 - Consola do exercício

O interface da consola para controlar o exercício é construído em *html*, *php* e *java script*. O *layout* da página é o mesmo para todos os exercícios. Contudo, o tipo de topologia da rede e os documentos de apoio dependem do tipo de exercício e têm que ser adaptados para novos exercícios.

Os alunos controlam o exercício através da página da consola (Figura 4.10). No exemplo é apresentada uma imagem com a topologia da rede utilizada no exercício de demonstração (Configuração de *routers* para interligação LAN WAN). Ao passar com o rato por cima de um equipamento, surge na caixa de texto a informação do *login* e *password* que deve ser utilizado, para aceder àquele dispositivo em particular. A imagem tem associada uma hiperligação por *telnet*, para o endereço do servidor de consolas. Assim, quando o aluno faz, por exemplo, um clique sobre o *router* GW1, o *browser* local chama a

aplicação de *telnet*<sup>19</sup> que estiver configurada e abre uma sessão para o servidor de consolas. Nesta fase o utilizador só tem que se autenticar no servidor de consolas, utilizando o *login* e *password* fornecidos, para ganhar acesso à CLI do equipamento.

### Acesso a uma consola *Linux*

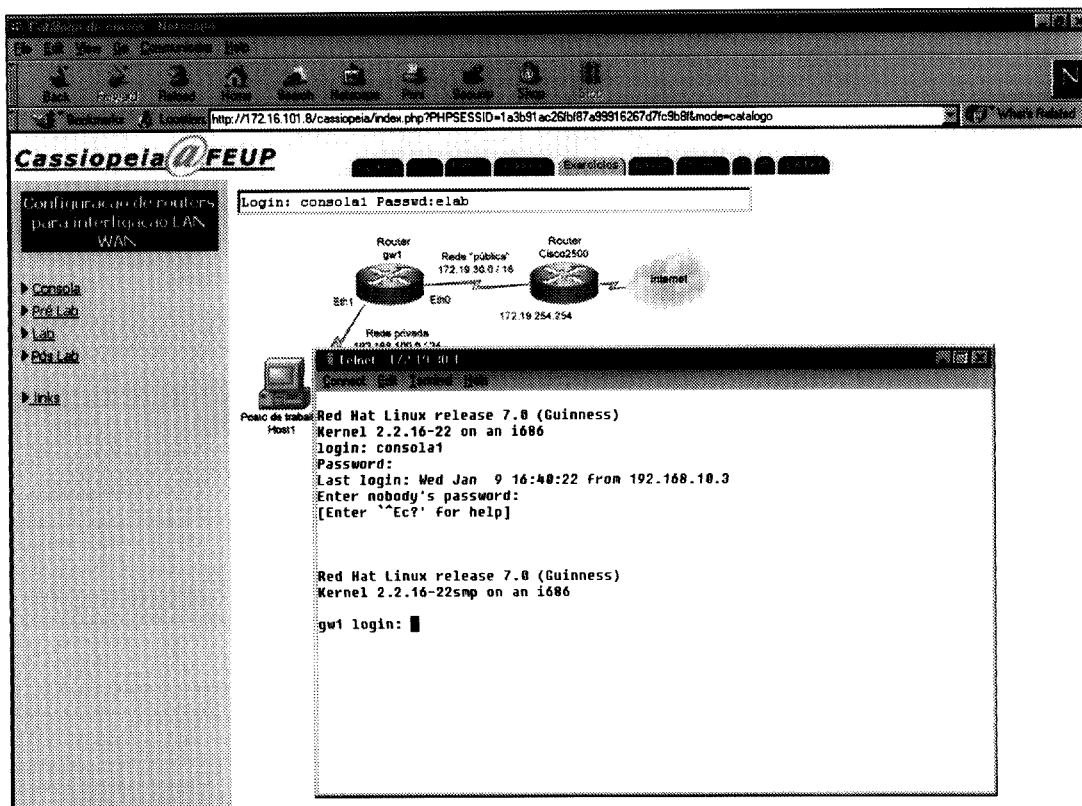


Figura 4.11 - Acesso a uma consola *Linux*, através do servidor de consolas, no início do exercício.

<sup>19</sup> No caso de se utilizar um sistema *windows*, o *browser* deve ser configurado para utilizar o cliente de *telnet* do *windows*, ou outro compatível. O *Hyper Terminal* não deve ser utilizado, uma vez que não funciona correctamente como cliente de *telnet*.

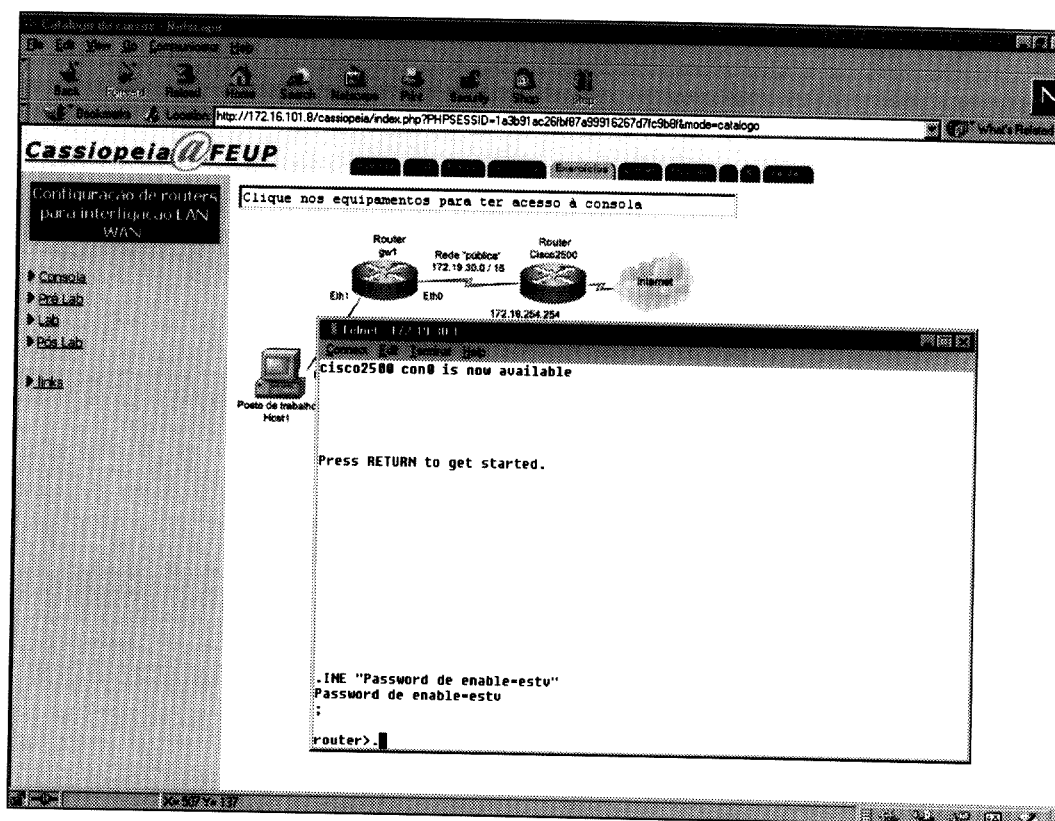


Figura 4.12 - Acesso à consola de um *router Cisco*, durante a realização do exercício

Neste caso o *router* foi configurado, para quando é acedido pela consola mostrar um *banner* que informa qual é a *password* de *enable* que se deve utilizar para aceder aos comandos de configuração reservados ao administrador.

### Consolas dos equipamentos

Para verificar se atingiu os objectivos do exercício, o aluno deve fazer os testes de funcionamento. Neste exercício utilizam-se os comandos *ping* e *traceroute* para verificar se as duas redes IP que estão interligadas pelo *router Linux* comunicam. Como se pode verificar na Figura 4.13, o *ping* funciona, pelo que o objectivo do exercício foi atingido.

A aplicação 10 minutos antes de terminar o tempo reservado para o exercício, avisa o utilizador do tempo que ainda lhe resta (ver Figura 4.13). Quando o tempo estimado para o exercício chega ao fim, o *labkeeper* corta a conexão do utilizador com as consolas dos equipamentos.

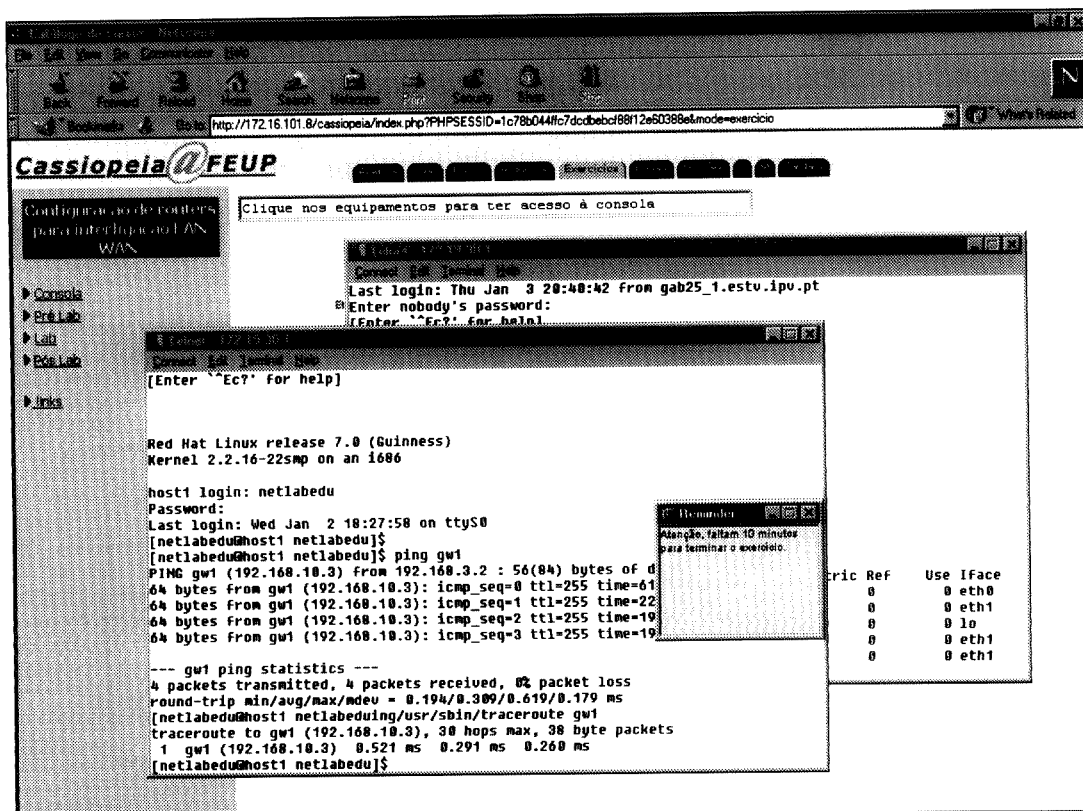


Figura 4.13 –Verificação do funcionamento do exercício, utilizando o *ping* e *tracert* e o *reminder* a avisar que o tempo está a terminar.

### Avaliação (Pós-lab)

Quanto à avaliação dos exercícios, esta pode ser feita de diversas formas, dependendo dos objectivos do exercício e dos critérios do professor. O protótipo actual ainda não tem nenhum mecanismo que permita fazer a avaliação automática dos exercícios e consequentemente dos alunos. Contudo, o professor pode avaliar a performance dos alunos, pedindo-lhes, por exemplo, no final do enunciado, um pequeno relatório, onde o(s) aluno(s) tenham que descrever os procedimentos e os comandos utilizados no exercício, bem como os resultados desses testes, incluindo *print screens* dos comandos (*ping* e *tracert*). Em alternativa, os alunos podem responder a um questionário relacionado com as actividades desenvolvidas. Nesse caso, esse questionário seria acedido através da hiperligação *pós-lab*.

### 4.5.3 Trabalhos em Grupo

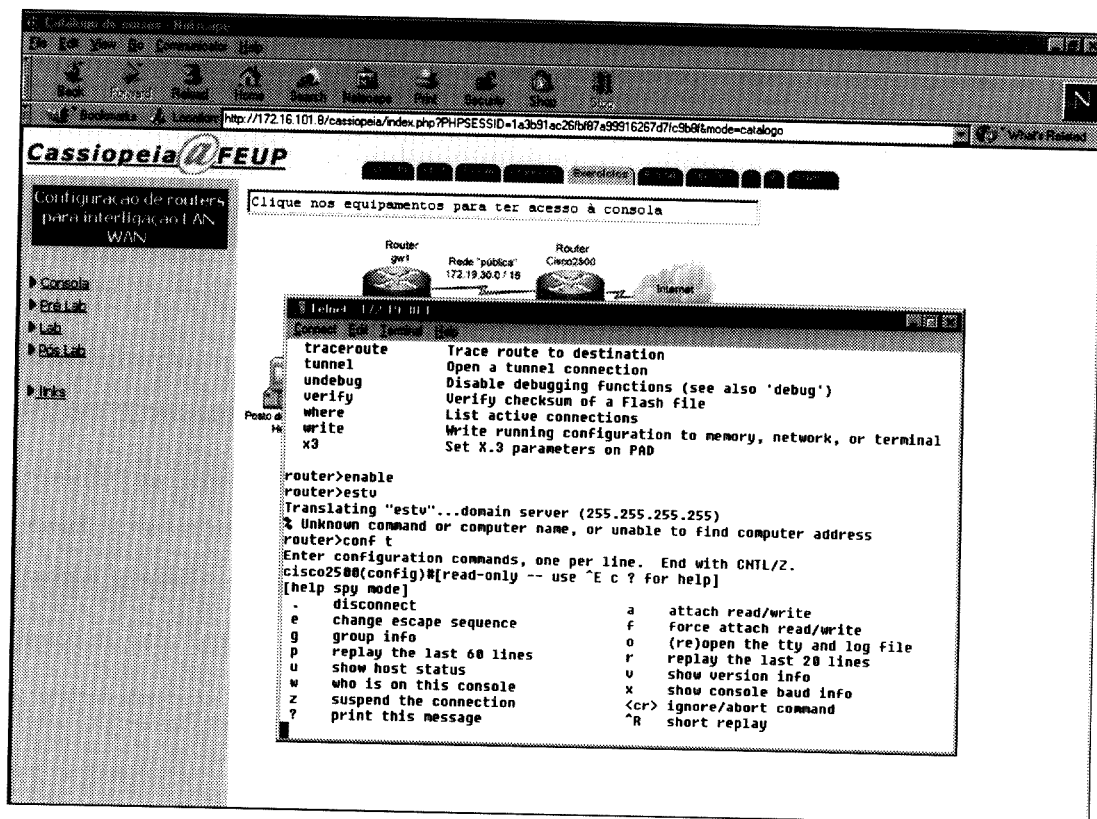


Figura 4.14 -Exemplo de utilização das consolas, em trabalhos de grupo.

O laboratório remoto permite a realização de trabalhos em grupo. Com efeito, o servidor de consolas, permite o estabelecimento de conexões de vários utilizadores para a mesma consola. Aproveitando esta características conseguiu-se desenvolver um ambiente em que alunos e professores, desde que pertençam ao mesmo grupo, podem aceder em simultâneo às consolas dos equipamentos e colaborar na resolução do exercício. Quando dois ou mais alunos acedem à mesma consola, o primeiro ganha o controlo da sessão ficando com privilégios de leitura/escrita, enquanto os utilizadores que chegam depois entram em modo de leitura (*spy mode*). O controlo da sessão pode ser comutado entre os vários utilizadores através do menu do servidor de consolas. Na Figura 4.14 mostra-se uma consola a ser utilizada em (*spy mode*). Neste modo os alunos apenas podem ver o que está a ser feito . Para comutar o controlo da consola, basta que o utilizador que pretende o controlo da consola use a sequência de escape `^E c` seguida da opção `f`, para forçar o modo leitura/escrita.

Esta característica do servidor de consolas é muito importante no contexto do laboratório remoto, porque facilita o trabalho colaborativo. Como o sistema permite múltiplas sessões para a mesma consola e o controlo da sessão pode ser comutado entre as várias sessões, vários utilizadores podem colaborar em tempo real, para completarem o mesmo exercício.

### Ferramentas de comunicação colaborativa

Paralelamente às consolas dos equipamentos, os alunos têm também acesso a ferramentas de comunicação colaborativa. Como ferramentas assíncronas estão disponíveis um fórum de discussão e um cliente de *e-mail* e para permitir colaboração síncrona o *chat*. Estas ferramentas são especialmente úteis para a realização de exercícios em grupo, uma vez que os alunos usam as ferramentas assíncronas, por exemplo, para tirarem dúvidas ou colocar questões ao professor e utilizar o *chat*, para colaborar em tempo real na realização do mesmo exercício.

### Fórum de discussão

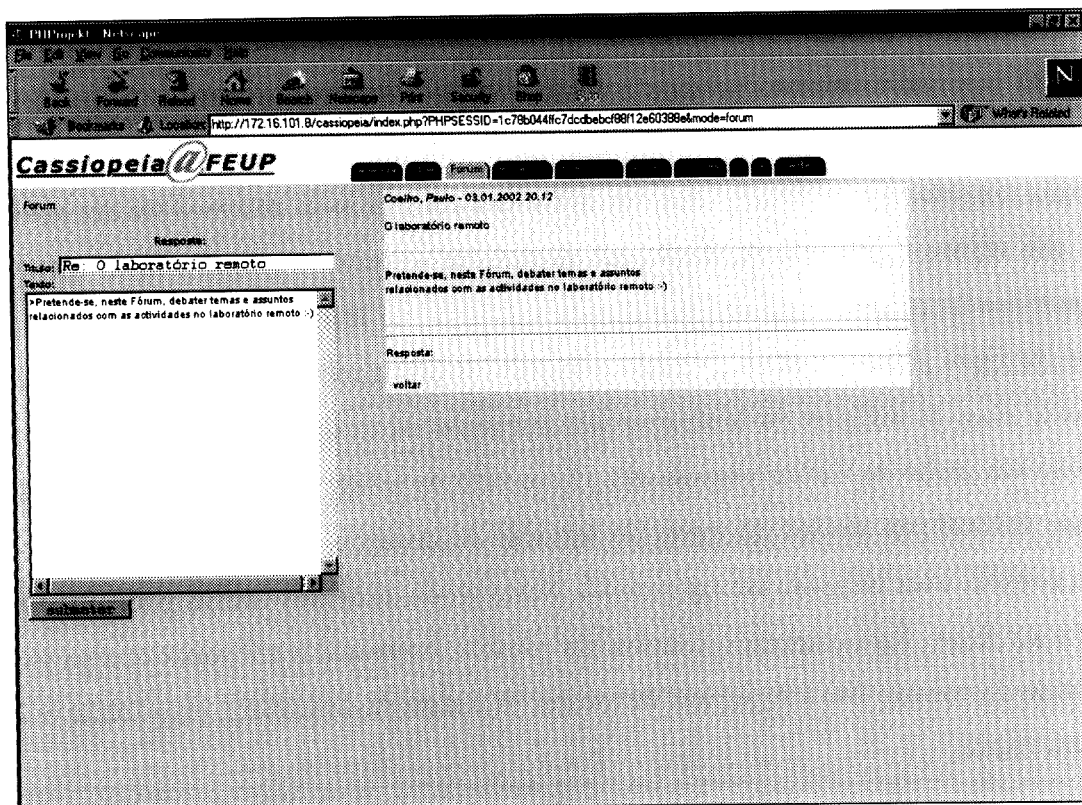


Figura 4.15 - Fórum de discussão integrado na aplicação

## E-mail

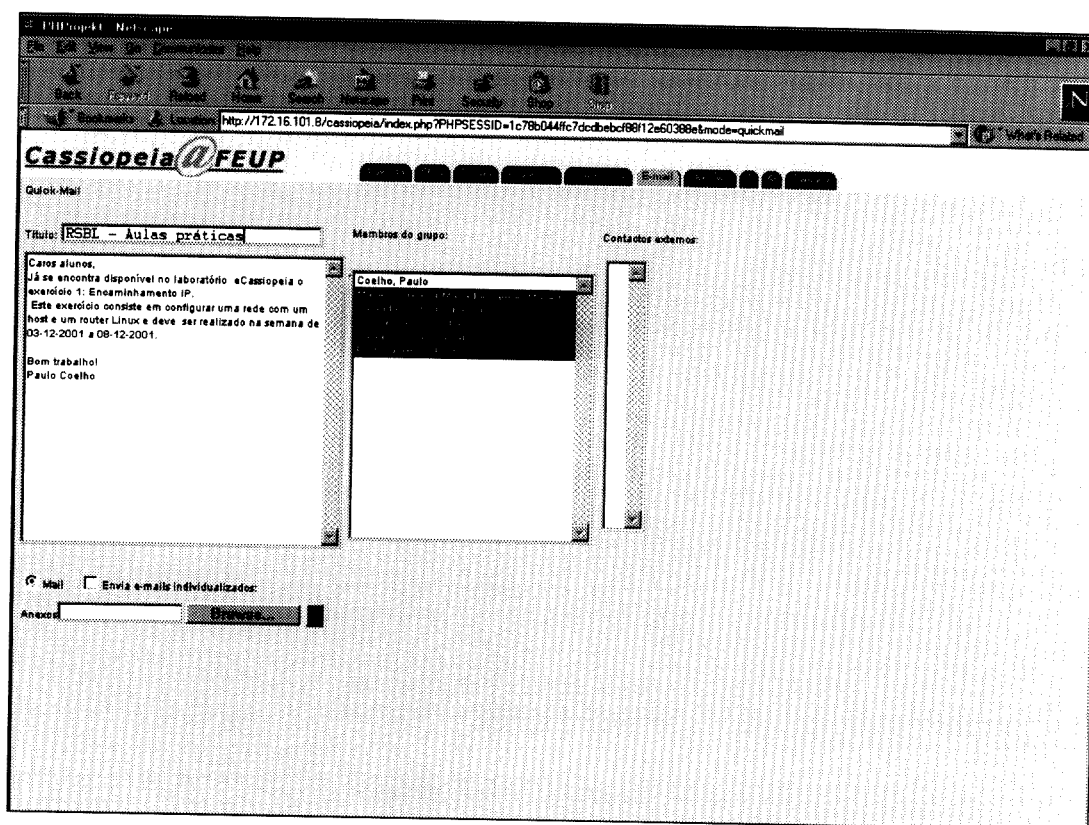


Figura 4.16 - Quick Mail integrado na aplicação

O *Quickmail* permite que os utilizadores do laboratório enviem mensagens de *email* de uma forma rápida. Os endereços dos elementos do grupo encontram-se logo disponíveis e podem ser seleccionados de uma forma imediata. Esta aplicação permite ainda enviar juntamente com as mensagens, ficheiros em anexo. As mensagens são enviadas para a conta normal dos utilizadores, podendo depois ser lidas num cliente de *email* qualquer.

As ferramentas de comunicação estão disponíveis para todos os utilizadores para que possam recorrer a elas sempre que acharem necessário e utilizá-las de acordo com a metodologia do trabalho. Podem ser utilizadas em exercícios individuais ou em grupo. Como exemplo, pode dar-se o seguinte: no meio da resolução de um exercício, o aluno tem uma dúvida e pretende pedir a ajuda do professor. Para isso, pode recorrer ao *chat*, para de uma forma síncrona, comunicar com o professor a fim de esclarecer a sua dúvida. Em alternativa pode enviar um *e-mail* directamente da aplicação ou colocar a questão no fórum de discussão e esperar que alguém lhe responda.

### Ferramenta de comunicação síncrona (*Chat* de texto)

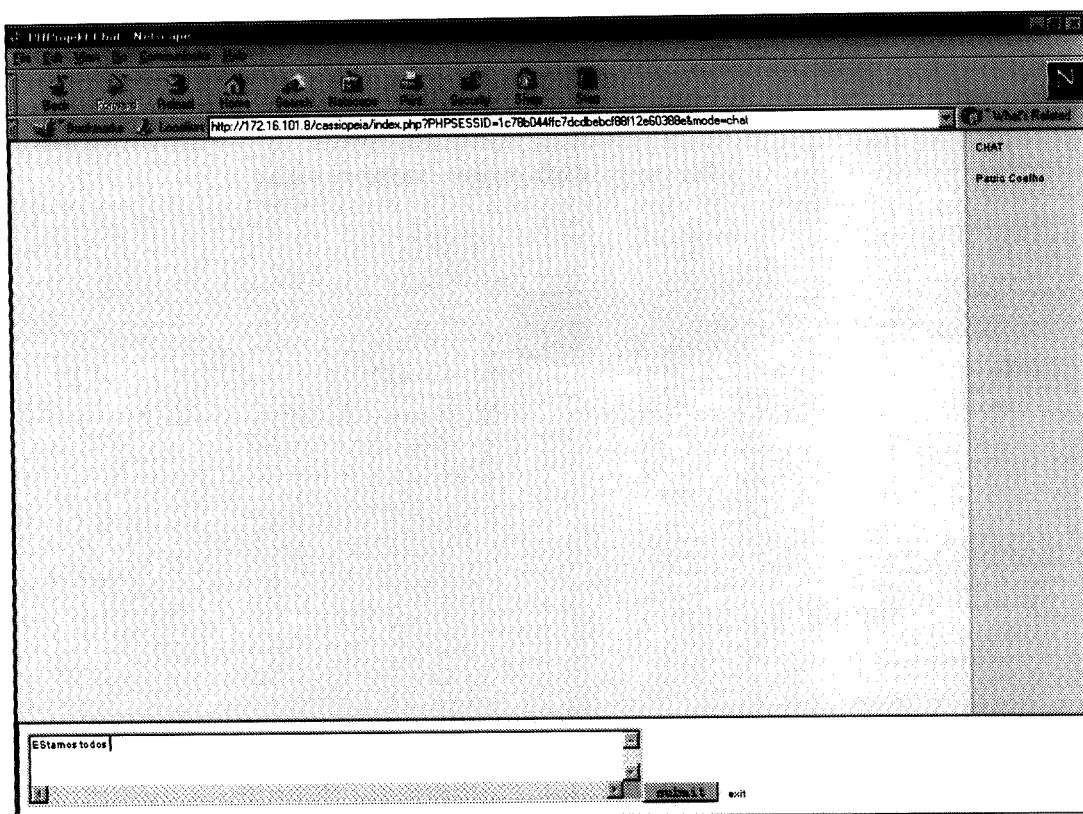


Figura 4.17 - *Chat*, integrado na aplicação *Cassiopeia@FEUP*.

## 4.6 Conclusão do capítulo

Neste capítulo descreveram-se informações técnicas relativas à implementação do protótipo do laboratório de redes remoto. Começou por se fazer uma selecção das ferramentas utilizadas para o desenvolvimento, passando-se de seguida para o projecto conceptual da base de dados de suporte ao laboratório.

Apresentaram-se também as técnicas e os *scripts* utilizados para implementar o mecanismo de controlo de acessos e o serviço *Labkeeper*.

Relativamente à implementação do ambiente de apoio *web*, foi desenvolvida uma aplicação modular designada *cassiopeia@FEUP*, da qual se apresentaram vistas do interface e descreveram as principais características. Nesta aplicação foram ainda integrados módulos da aplicação *PHPProjekt*, de modo a permitir a integração rápida de ferramentas de comunicação.

## Capítulo 5

# Conclusão

---

A realização deste trabalho revelou-se uma tarefa exigente, mas motivadora e fascinante. O laboratório de redes remoto contribuiu, em primeiro lugar, para o contacto directo com a área das redes e em segundo lugar permitiu explorar a temática do ensino à distância, baseado na *web*. A combinação destas duas áreas com diferentes vertentes resultou num trabalho deveras enriquecedor e ajudou simultaneamente a consolidar conhecimentos.

A possibilidade de aceder ao laboratório de redes *eCassiopeia*, através da Internet, usando a aplicação *Cassiopeia@FEUP*, revelou-se uma experiência inovadora, útil e motivante. Com efeito, esta nova vertente remota do laboratório vem complementar as funcionalidades do laboratório convencional, que passa também a suportar a realização de exercícios práticos de redes à distância. Note-se que o objectivo deste trabalho nunca foi substituir o laboratório local, até porque isso seria contraproducente, mas sim dotá-lo de mecanismos que permitam a sua utilização remota, de uma forma controlada através da Internet, aumentando assim a sua disponibilidade.

Para demonstrar este conceito, foi desenvolvida uma arquitectura para suportar o laboratório remoto e implementado um protótipo com os principais módulos. A abordagem utilizada para o módulo de acesso remoto é relativamente simples, mas eficaz. Para isso, é usado um servidor de consolas que suporta o acesso por *telnet* ou *SSH* às consolas dos equipamentos de ensino, permitindo inclusive, a realização de trabalhos em grupo. O módulo de gestão do laboratório é de todos o mais complexo e difícil de implementar. Contudo, foram implementados os principais componentes deste módulo, nomeadamente,

a base de dados do laboratório, o mecanismo de controlo de acessos baseado num *firewall* e a agenda. Quanto ao módulo de ambiente de apoio *web*, foi desenvolvida uma aplicação modular (*Cassiopeia@FEUP*) que se revelou bastante rápida e com um interface bastante intuitivo e agradável de utilizar. Com o objectivo de facilitar a comunicação colaborativa no laboratório e permitir a realização de trabalhos em grupo, foram ainda incluídas nesta aplicação ferramentas de comunicação colaborativa.

Dada a sua abrangência e complexidade, a implementação deste projecto ainda não está completa. Contudo, apesar das possíveis omissões, atingiram-se os principais objectivos orientadores da dissertação, que eram desenvolver uma arquitectura que permitisse expandir a utilização do laboratório de redes *Cassiopeia*, para fora das quatro paredes onde está inserido.

## 5.1 Trabalho futuro

Como trabalho futuro, pretende-se aferir da capacidade real do laboratório remoto como instrumento de ensino distribuído. Para tal, o laboratório remoto vai ser testado numa disciplina de redes de um curso de Engenharia Informática, na Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Isto dar-nos-á um *feedback* valioso para melhorar o sistema e os seus benefícios pedagógicos.

Está também previsto integrar na infra-estrutura do laboratório um sistema de matriz de comutação composta por painéis de repartição automáticos que vão possibilitar o controlo remoto da configuração do laboratório. Esta unidade, depois de implementada, irá permitir trabalhar ao nível 1 do modelo de referência OSI, tornando possível, através dum interface *web*, configurar as conexões físicas entre os diferentes computadores e equipamentos de ensino. Portanto, os objectivos essenciais deste sistema são melhorar a experiência no laboratório, aumentar a flexibilidade na selecção de experiências e suportar a configuração remota da rede de teste.

Outro aspecto que pode ser melhorado é o ambiente de apoio *web* que pode incluir também ferramentas multimédia de comunicação colaborativa como videoconferência, audioconferência e *streaming* de vídeo a pedido, de forma a enriquecer o ambiente de apoio *web*, transformando-o num ambiente de apoio multimédia.

## **Anexo I - Dicionários de dados**

---

**LEGENDA (Chave):** R - Campo Requerido; # Chave primária (requerida); \* Chave estrangeira (requerida).

| INSTITUIÇÃO |            |          |                               |
|-------------|------------|----------|-------------------------------|
| Chave       | Nome campo | Tipo     | Descrição                     |
| #           | sigla      | Char(10) | Nome abreviado da instituição |
| R           | nome       | Char(60) | Dados da Instituição          |
|             | morada     | Char(40) |                               |
|             | localidade | Char(30) |                               |
|             | cod_postal | Char(10) |                               |
|             | telefone   | Char(15) |                               |
|             | fax        | Char(15) |                               |
|             | url        | Char(50) | Endereço URL                  |

| UTILIZADOR |                   |          |                                                               |
|------------|-------------------|----------|---------------------------------------------------------------|
| Chave      | Nome campo        | Tipo     | Descrição                                                     |
| #          | id                | Int(8)   | Identificador único do utilizador (incremento)                |
| R          | nome              | Char(30) | Dados pessoais do utilizador                                  |
| R          | sobrenome         | Char(30) |                                                               |
|            | login             | Char(10) |                                                               |
| R          | passwd            | Char(10) |                                                               |
|            | data_nasc         | Date     |                                                               |
| R          | morada            | Char(40) |                                                               |
| R          | localidade        | Char(30) |                                                               |
| R          | cod_postal        | Char(10) |                                                               |
| R          | país              | Char(30) |                                                               |
| R          | email             | Char(50) |                                                               |
|            | telefone          | Char(20) | Endereço URL do utilizador (opcional)                         |
|            | telem             | Char(20) |                                                               |
|            | url               | Char(50) | Endereço URL do utilizador (opcional)                         |
| R          | tipo_acesso       | Char(2)  | Tipo de utilizador (al - Aluno; pr - Professor; ad -          |
| *          | sigla_instituição | Char(10) | Nome abreviado da escola ou empresa a que pertence            |
|            | idioma            | Char(2)  | Idioma pretendido (pt - Português; en - Inglês; fr - Francês) |
|            | observacoes       | Char(60) | Campo reservado para observações                              |

| ALUNO |            |        |                             |
|-------|------------|--------|-----------------------------|
| Chave | Nome campo | Tipo   | Descrição                   |
| #     | id_aluno   | Int(8) | Chave herdada de utilizador |

| PROFESSOR |              |        |                             |
|-----------|--------------|--------|-----------------------------|
| Chave     | Nome campo   | Tipo   | Descrição                   |
| #         | id_professor | Int(8) | Chave herdada de utilizador |

**SESSÃO**

| Chave | Nome campo    | Tipo     | Descrição                                                                         |
|-------|---------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id            | Char(15) | Identificador único da sessão                                                     |
| *     | id_utilizador | Int(8)   | Id do utilizador                                                                  |
|       | end_ip        | Char(15) | Endereço IP da máquina do utilizador                                              |
|       | inicio_sessao | Time     | <i>Timestamp</i> com a hora de inicio da sessão                                   |
|       | modo_seguro   | Booleano | <i>Flag</i> que indica a utilização ou não do endereço IP para controlo da sessão |

**GRUPO**

| Chave | Nome campo  | Tipo      | Descrição                                            |
|-------|-------------|-----------|------------------------------------------------------|
| #     | id          | Int(4)    | Identificador único do grupo (incremento automático) |
| R     | nome        | Char(255) | Nome do grupo                                        |
| R     | categoria   | Char(10)  |                                                      |
|       | descrição   | Char(255) |                                                      |
|       | observações | Char(255) | Campo reservado                                      |

**PARTICIPA**

| Chave | Nome campo    | Tipo      | Descrição                                                                                          |
|-------|---------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id_grupo      | Int(4)    | Códigos, chave estrangeira e composta para identificar os utilizadores que fazem parte de um grupo |
| #     | id_utilizador | Int(8)    |                                                                                                    |
|       | observações   | Char(255) | Campo reservado                                                                                    |

**DISCIPLINA**

| Chave | Nome campo   | Tipo     | Descrição                                                  |
|-------|--------------|----------|------------------------------------------------------------|
| #     | sigla        | Char(10) | Código da disciplina, na secretaria                        |
| R     | nome         | Char(50) |                                                            |
| *     | id_professor | Char(10) | Código do professor (utilizador) que ministra a disciplina |
|       | ano          | char(9)  | Ano lectivo                                                |
|       | semestre     | char(1)  | Semestre em que a disciplina é leccionada                  |
|       | url          | Char(50) | Caso exista outra página com conteúdos da disciplina       |
|       | observações  | Text     | Campo reservado para observações                           |

**MATRICULA**

| Chave | Nome campo       | Tipo     | Descrição                                                                                           |
|-------|------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id_aluno         | Int(8)   | Códigos, chave estrangeira e composta para identificar a disciplina(s) em que o aluno está inscrito |
| #     | sigla_disciplina | Char(10) |                                                                                                     |
| #     | data             | Date     | Gravados pelo sistema no momento da inscrição                                                       |
| R     | hora             | Time     |                                                                                                     |

**MÓDULO**

| Chave | Nome campo  | Tipo      | Descrição                                            |
|-------|-------------|-----------|------------------------------------------------------|
| #     | id          | Int(4)    | Identificador único do grupo (incremento automático) |
| R     | nome        | Char(10)  | Nome do módulo de exercícios                         |
|       | descrição   | Char(255) | Descrição dos objectivos do módulo                   |
|       | observações | Char(100) |                                                      |

**INTEGRA**

| Chave | Nome campo       | Tipo     | Descrição                                                                                     |
|-------|------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | sigla_disciplina | Char(10) | Códigos, chave estrangeira e composta para identificar os módulos que integram uma disciplina |
| #     | id_módulo        | Int(4)   |                                                                                               |

**EXERCÍCIO**

| Chave | Nome campo    | Tipo      | Descrição                                                                                                                |
|-------|---------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id            | Int(4)    | Código do exercício (incremento automático)                                                                              |
| *     | id_módulo     | Int(4)    | Chave estrangeira, que identifica o módulo                                                                               |
| *     | id_professor  | Int(8)    | Professor que criou o exercício                                                                                          |
| R     | nome          | Char(50)  | Nome do exercício                                                                                                        |
|       | objectivo     | Char(255) | Objectivo do exercício                                                                                                   |
|       | data_inicio   | Date      | Data em que o exercício fica activo                                                                                      |
|       | data_fim      | Date      | Data em que o exercício termina                                                                                          |
|       | duração       | Int(4)    | Tempo em minutos, estimado para a resolução do exercício                                                                 |
|       | precedencia   | Int(4)    | Identifica outro exercício com precedência sobre este. Se estiver a nulo, não existe precedência.                        |
|       | url_imagem    | Char(50)  | Hiperligação para o ficheiro .gif ou .jpg que será apresentado com a topologia para o exercício.                         |
|       | url_enunciado | Char(50)  | Hiperligação para o ficheiro .html ou .pdf que contém o enunciado do exercício.                                          |
|       | url_prelab    | Char(50)  | Hiperligações do exercício, para outros documentos relacionados ( <i>tutorial</i> com o Pre-lab, Pós-lab e outros sites) |
|       | url_poslab    | Char(50)  |                                                                                                                          |
|       | url_outros    | Char(50)  |                                                                                                                          |
|       | anotações     | Text      | Campo grande para o professor colocar anotações para a realização do exercício                                           |

**REALIZA**

| Chave | Nome campo   | Tipo      | Descrição                                                                                    |
|-------|--------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id_aluno     | Int(8)    | Códigos, chave estrangeira e composta para identificar o exercício realizado pelo aluno      |
| #     | id_exercício | Int(4)    |                                                                                              |
| #     | data_inicio  | Date      | Gravados automaticamente pelo sistema no início e no fim do exercício.                       |
| #     | hora_inicio  | Time      |                                                                                              |
|       | data_fim     | Date      |                                                                                              |
|       | situação     | Char(1)   | Identifica o estado em que se encontra o exercício (A – Agendado; C – Completo; N – aNulado) |
|       | nota         | Int(4)    | Classificação obtida no exercício                                                            |
|       | observações  | Char(100) |                                                                                              |

**PREDEDÊNCIAS**

| Chave | Nome campo            | Tipo   | Descrição                                                                                                                                                  |
|-------|-----------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id_exercício          | Int(4) | Chaves estrangeiras e composta ( Esta tabela é utilizada se houver precedências, isto é, se o exercício anterior tiver que ser realizado antes do actual). |
|       | id_exercício_anterior | Int(4) |                                                                                                                                                            |

**EQUIPAMENTO**

| Chave | Nome campo  | Tipo      | Descrição                                              |
|-------|-------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| #     | id          | Int(4)    | Identificador único (incremento automático)            |
| R     | tipo        | Char(1)   | Identifica se é de produção (P) ou de ensino (E)       |
|       | nome        | Char(40)  | Nome do equipamento                                    |
|       | classe      | Char(100) | A classe do equipamento ( <i>Router, Switch, etc</i> ) |
|       | modelo      | Char(80)  |                                                        |
|       | fabricante  | Char(80)  |                                                        |
|       | n_serie     | Char(60)  | Identificação do número de série                       |
|       | end_mac     | Char(60)  | Endereço físico                                        |
|       | consola     | Char(60)  | Nome da consola, utilizado pelo servidor de consolas   |
|       | observações | Char(255) | Campo reservado                                        |

**RESERVA**

| Chave | Nome           | Tipo      | Descrição                                                           |
|-------|----------------|-----------|---------------------------------------------------------------------|
| #     | data           | Date      | Chave composta e estrangeira, para identificar o evento             |
| #     | hora_inicio    | Char(4)   |                                                                     |
| R     | hora_fim       | Char(4)   |                                                                     |
| #     | id_utilizador  | Int(8)    |                                                                     |
| #     | id_equipamento | Int(4)    |                                                                     |
| R     | nome_evento    | Char(80)  | Nome do evento que aparece na agenda (Pode ser o nome do exercício) |
| R     | comentário     | Char(80)  | Comentário que aparece sobre o evento                               |
|       | Observações    | Char(255) |                                                                     |

**USADO**

| Chave | Nome           | Tipo    | Descrição                                                                                    |
|-------|----------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| #     | id_exercício   | Int(4)  | Chave estrangeira composta para identificar os equipamentos que são usados por um exercício. |
| #     | id_equipamento | Int(4)) |                                                                                              |

# Referências

---

## Referências Bibliográficas

- [1] ALHALABI, B. et al., "Remote Labs: An Innovative Leap in Engineering Distance Education", Proceedings of the ACE 2000, IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education, Gold Coast, Australia, December 2000.
- [2] ANISTESH B., C. Ramnath, A. Whinston, "Creating a Collaboratory in Cyberspace: Theoretical Foundation and an Implementation", 1996.  
URL: (<http://cism.bus.utexas.edu/ram/papers/joc/joc.html>)
- [3] BURÇIN, Aktan et al. "Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratorie", IEEE transactions on education, vol 39, n.3, pp320-326, August 1996.
- [4] CARDOSO, Ferrugem, "AvalWeb – Sistema Interativo de Gerência de Questões e Aplicação de Avaliações Web", Porto Alegre, PPGC da UFRGS, 2001.
- [5] CASTAGNETTO, J. Rawat, H. Schumann, S. Scollo, C. Veliath, D., *Professional PHP Programming*, Wrox Press Ltd, 2000.
- [6] COELHO, Paulo and Raúl Oliveira, "Arquitetura do laboratório remoto *e-Cassiopeia*", In proceedings of CRC'2001, Covilhã, November, 2001.
- [7] DUSTDAR, S. and Angelides M. C., "Multimedia information systems", in: The Handbook of Internet and Multimedia Systems and Applications (B. Furht, Ed.). Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 1998.
- [8] LABBE, T. et al., "Alcatel – North Carolina State University virtual laboratory for end-to-end quality of service engineering", Alcatel Telecommunications Review, 3<sup>rd</sup> Quarter 2001, pp 228-232.
- [9] LINDA, Harasim, "A Framework for Online Learning: The Virtual – U". IEEE Computer Society Journal "Computer", vol. 32, n° 9, pp 44-49.

- [10] LATCHMAN, H. A., Ch. Salzmann, D. Gillet, Hicham Bouzekri, "Information Technology Enhanced Learning in Distance and Conventional Education", IEEE Transactions on Education, Vol.42, N° 4, November 1999.
- [11] MONTEIRO, Edmundo, Fernando Boavida, *Engenharia de redes informáticas*, FCA - Editora de Informática, 2000.
- [12] NELSON, Daniel and Yau Man Ng, "Teaching Computer Networking Using Open Source Software", in proceedings of SIGCSE/SIGCUE Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, Helsinki, Finland, 2000.
- [13] PEREIRA, Fernando, *Linux, curso completo*, FCA - Editora de Informática, 2000.
- [14] RAMAKRISHNAN, Raghu, *Database Management Systems*, McGraw-Hill, 1998.
- [15] RÖHRIG, Christof, Andreas Jochheim, "Java-based framework for remote access to laboratory experiments", In proceedings of IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education, ACE 2000, Gold Coast, Australia, December 2000.
- [16] STEVENS, W. Richard, *Advanced Programming in the Unix Environment*, Addison-Wesley, 2000.
- [17] TUTTAS, J., Wagner B., "Distributed Online Laboratories", International Conference on Engineering Education, Oslo, Norway, 2001.
- [18] YEN-JEN, Wei-hsiu Ma, David D., "Creating a Virtual Network Laboratory", Proceedings of the 1997 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS' 97).  
URL: (<http://www.computer.org/proceedings/icmcs/7819/78190642abs.htm>)

### **Referências a páginas e documentos na *web*.**

- [19] ALVES, Valter et al., "NEAD - Núcleo de Ensino-Aprendizagem à Distância", Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 2001. Documento disponível *online*.  
URL: (<http://www.estv.ipv.pt/dep/di/nead/>)
- [20] APACHE, Servidor *Web*  
URL: (<http://www.apache.org>)
- [21] APCON, *Patch panels* automáticos produzidos pela Apcon.  
URL: (<http://www.apcon.com/patchpanels.html>)

- [22] CENTRA Symposium. Aplicação comercial de WBT.  
URL: (<http://www.centra.com/products/symposium/info.asp>)
- [23] CONSERVER, Página Principal do servidor de consolas *Conserver*.  
URL: (<http://www.conserver.com/>)
- [24] FORMARE, PT Inovação. Plataforma de WBT  
URL: (<http://www.formare.pt>)
- [25] LITT , Steve, "Programação por sockets" Documento disponível *on-line*.  
URL: (<http://www.troubleshooters.com/codecorn/sockets/index.htm>)
- [26] LOTUS Learning Space. Plataforma comercial de WBT.  
URL: (<http://www.lotus.com/home.nsf/welcome/learnspace>)
- [27] MENTORLABS, Virtual labs. Laboratórios de redes virtuais.  
URL: (<http://www.mentorlabs.com>)
- [28] NET-HOPPER, "*Patch panels* automáticos produzidos pela *Net-Hopper*".  
URL: ([http://net-hopper.spirentcom.com/cppr\\_apps.html](http://net-hopper.spirentcom.com/cppr_apps.html))
- [29] MYSQL, Página oficial do Sistema de Gestão de Base de Dados MySQL.  
URL: (<http://www.mysql.com/downloads/> )
- [30] OPTIVITY, Nortel Network configuration systems, Software de gestão de redes.  
URL: [http://www.nortelnetworks.com/products/01/unifiedmanagement/network/opt\\_ncs.html](http://www.nortelnetworks.com/products/01/unifiedmanagement/network/opt_ncs.html)
- [31] PASSMORE, David, Freeman John, "The Virtual LAN Technology Report". Documento disponível *on-line*.  
URL: (<http://www.3com.com/nsc/200374.html>)
- [32] PHPROJEKT, Página principal da aplicação de *groupware* *PHProjekt*.  
URL: (<http://www.phpprojekt.com/>)
- [33] RUSSELL, Rusty, "Linux iptables HOWTO". Documento disponível *on-line*.  
URL: (<http://netfilter.samba.org/>)

- 
- [34] SAYO, B. Hrybyk, B. Dabell, J. Bayley, "Internet Engineering Lab". Documento disponível *on-line*. URL: ([http://www.gait.bcit.ca/Projects/iel/Project\\_Documents/High\\_Level\\_Lab\\_Architecture\\_rv014.pdf](http://www.gait.bcit.ca/Projects/iel/Project_Documents/High_Level_Lab_Architecture_rv014.pdf))
- [35] SSH, Aplicação *SSH Secure Shell*  
URL: (<http://www.ssh.com>)
- [36] VNELAB, Virtual Networking Engineering Lab.  
URL: (<http://vnelab.cs.tamu.edu/NEWeb/projects-c.htm>)
- [37] WBT Systems *Top Class Quick Tour*.  
URL: (<http://www.wbtsystems.com/products/overview.html>)
- [38] WEBCT, "Getting Started with WebCT". Documento disponível *online*:  
URL: (<http://www.webct.com/quickstart>)