

Uma experiência multi-facetada de ensino das redes de computadores a alunos de Engenharia Informática

J. Legatheaux Martins, Henrique João Domingos, Nuno Preguiça e Sérgio Duarte¹

CITI e Departamento de Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa, Quinta da Torre, 2829-516 Monte da Caparica, Portugal
E-mail: { jalm, hjd, nmp, smd } @di.fct.unl.pt

Resumo — As Universidades estão hoje expostas a desafios que as obrigam a repensar a organização dos cursos e das cadeiras. Na origem desses desafios estão a subida do número de alunos e as novas exigências do tecido produtivo e da sociedade em geral. A cadeira de Redes de Computadores da Licenciatura em Engenharia Informática da FCT/UNL evoluiu desde os anos 90 de forma sensível. Essas mudanças foram mais motivadas pelas mudanças acima enunciadas que pelas mudanças da tecnologia das Redes de Computadores. Os mesmos desafios, assim como a importância crescente das Redes de Computadores, levam à necessidade de procurar encontrar novas formas de relacionar a teoria e a prática laboratorial nas cadeiras dos últimos anos dos cursos superiores. Uma experiência deste tipo está igualmente em curso na LEI da FCT/UNL, no quadro da cadeira de Complementos de Redes de Computadores.

I. INTRODUÇÃO

As Universidades estão hoje expostas a desafios que as obrigam a repensar a organização dos cursos e das cadeiras. As mudanças ocorridas na sociedade e tecido produtivo portugueses estão entre os principais factores que motivam estes desafios.

Em Portugal, há apenas duas dezenas de anos, só uma pequena fracção dos alunos em idade de frequentarem o ensino superior ingressavam na Universidade. De forma geral, os alunos de cursos de Engenharia Informática estavam muito motivados e tinham uma preparação de base e uma literacia científica que facilitava a tarefa dos professores. Desde que um professor fosse competente na matéria da cadeira e conseguisse transmitir aos alunos o seu entusiasmo e paixão pelo tema, a cadeira acabaria por correr quase sempre bem. A formação centrava-se no ensino dos princípios fundamentais e orientava-se pelo objectivo de dar ao aluno uma sólida preparação de base. Por outro lado, as expectativas do mundo empresarial sobre aos licenciados em Engenharia Informática, eram tais, que a grande maioria dos empregadores estavam dispostos a pagar o preço de transformar o jovem licenciado num profissional competente.

Em Portugal, e em particular na área de Redes de Computadores, as expectativas dos empregadores ainda eram mais baixas. As redes de pacotes de acesso público eram um nicho de mercado, servido por uma empresa do universo TLP/CTT, que fornecia circuitos X.25, e uma primeira empresa privada, que introduziu o primeiro serviço público baseado em *frame relay*. Apenas algumas grandes empresas de serviços tinham as suas redes internas próprias. A utilização de TCP/IP estava confinada às redes locais. Poucas ou nenhuma aplicações distribuídas de grande âmbito eram utilizadas fora de nichos como a banca, a bolsa ou os sistemas de reservas de bilhetes de avião.

Não é necessário realçar a forma como a generalização da utilização de redes de computadores e de aplicações distribuídas está a modificar todas as áreas de actividade humana, quer a nível da indústria, dos serviços, do lazer, e até, a breve trecho, da agricultura. O que nos merece mais realce neste texto é a forma como as responsabilidades das universidades se foram modificando subtilmente. Por um lado, o ensino superior de Engenharia Informática está a transformar-se num ensino de massas. O número de estudantes que é necessário formar aumentou muito. Este facto aumentou necessariamente a heterogeneidade dos alunos. A literacia científica dos alunos modificou-se também, tornando-se mais ténue e menos focalizada. Ao mesmo tempo, o contacto com os computadores e as redes de computadores banalizaram-se. Pelo menos, ao nível da utiliza-

¹ Agradecimentos à direcção da FCT/UNL e ao Presidente do DI pelo apoio financeiro prestado à montagem do Laboratório de Redes do Departamento de Informática, ao colega Pedro Medeiros pela troca de experiências proporcionada e finalmente ao funcionário Alexandre Silva e ao aluno Pedro Almeida pelo apoio à aquisição e montagem dos equipamentos.

ao nível da utilização, já não existem mistérios, o fascínio deslocou-se para áreas mais ligadas às novas interfaces, à mobilidade e à miniaturização. Por outro lado, as expectativas dos alunos, pais e empregadores modificaram-se. Com efeito, os alunos prestam muito mais atenção ao factor utilidade imediata das aprendizagens e os empregadores aos factores relacionados com as competências reais dos alunos. Mais do que o gosto ou o fascínio, o factor empregabilidade condiciona cada vez mais as escolhas dos alunos.

Neste contexto, a organização das cadeiras dos cursos superiores de Engenharia Informática não pode basear-se apenas na paixão, conhecimentos ou brilhantismo dos professores. É necessário conceber cada cadeira, ou conjunto de cadeiras, como um projecto tipificado, com objectivos e orçamento claros. É também necessário maximizar o rendimento do trabalho de todos os intervenientes, em particular o dos alunos, e tomar em consideração que, actualmente, as cadeiras obrigatórias e de base dos cursos de Engenharia de Informática são seguidas por números de alunos que se cifram pelo menos nas centenas e que as cadeiras opcionais da área de redes são seguidas por várias dezenas de alunos. Neste contexto, o processo de ensino não pode ser encarado como algo que é inato ao professor cientificamente competente.

O ensino do tema de Redes de Computadores e áreas afins na Licenciatura em Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (LEI da FCT/UNL) tem evoluído ao longo dos anos para se adaptar a esta nova realidade e é hoje em dia alicerçado numa visão da envolvente que acaba de ser exposta. Este texto apresenta a nossa experiência no ensino das Redes de Computadores na LEI da FCT/UNL. No mesmo discutimos a cadeira de Redes de Computadores, a primeira cadeira sobre redes a que os alunos são expostos. Para além de apresentar a cadeira, apresentamos a forma como esta tem evoluído e tem sido adaptada às novas realidades. Apresentamos igualmente uma experiência inovadora, conduzida mais recentemente no âmbito da cadeira de Complementos de Redes de Computadores, onde estamos a tentar um novo equilíbrio entre todo o conjunto de objectivos, constrangimentos e expectativas sobre o ensino e a aquisição de competências, num contexto dirigido para alunos dos últimos anos do curso.

Na próxima secção começamos por fazer uma revisão dos diferentes objectivos do ensino da tecnologia e da engenharia. Em seguida, apresentamos o enquadramento do ensino de redes de computadores na LEI. A secção IV apresenta a nossa experiência no que diz respeito à cadeira de Redes de Computadores do 3º ano da LEI. A secção V apresenta a nossa experiência no que diz respeito à cadeira de Complementos de Redes de Computadores do 5º ano da LEI. Finalmente, na secção VI, apresentamos algumas conclusões e perspectivas de trabalho futuro.

II. OBJECTIVOS DO ENSINO DA ENGENHARIA E DA TECNOLOGIA

O ensino da tecnologia e da engenharia deve pautar-se por diversos objectivos, complementares, cujo peso em cada cadeira depende das características da cadeira e dos seus objectivos específicos. A seguir desenvolvemos um pouco cada um dos objectivos que podem fazer parte do programa de trabalhos de uma cadeira.

- *A paixão e o entusiasmo pelo conhecimento.* Nunca será de mais realçar que um ponto de partida fundamental do processo de ensino é conseguir que o professor transmita aos alunos a paixão pelo conhecimento. Sem esta paixão, é possível passar conhecimentos aos alunos, mas dificilmente se preenche um papel determinante do ensino superior da engenharia que é o de fomentar a paixão pela excelência, pelo conhecimento, pela inovação e pela sua aplicação à sociedade em geral. Se este aspecto é um ponto de partida fundamental, muitas vezes subestimado pelos teóricos e práticos da pedagogia, a verdade é que os outros aspectos a seguir são igualmente importantes.
- *O essencial e o secundário.* Qualquer área do saber é multi-facetada envolvendo aspectos essenciais e outros mais acessórios ou decorrentes dos primeiros. Numa cadeira é necessário estabelecer desde o princípio quais os aspectos fundamentais, ao nível dos modelos e metodologias, que o aluno deve acabar por reter e, se possível, interiorizar.
- *Despertar e captar a atenção do aluno.* As tecnologias usadas pela engenharia informática e pelas redes de computadores têm repercussões imediatas sobre o quotidiano das pessoas e, mais importante ainda, está ao alcance do aluno utilizá-las imediatamente. As cadeiras que puderem fornecer conhecimentos que os alunos possam usar e testar imediatamente, estão numa posição privilegiada para captar a atenção e a disponibilidade dos alunos.
- *Passar informação.* Em cadeiras tecnológicas é importante não esquecer que o aluno deve e pode também adquirir a capacidade de estar informado sobre as tecnologias usadas na indústria. Nem sempre é fácil atingir este objectivo, mas o mesmo é importante, sobretudo numa perspectiva de empregabilidade.

- *Fornecer competências e dar segurança ao aluno.* Na situação actual é natural que exista alguma pressão dos alunos e das famílias para a empregabilidade. Assim, os docentes, sem sacrificarem o carácter de longo prazo da formação que o Ensino Superior deve fornecer, devem tentar, se possível, conciliar de alguma forma as escolhas que fazem com aquela preocupação natural dos alunos.
- *Preparar a longo prazo.* O que distingue um engenheiro de um técnico é que o primeiro deve ter as competências necessárias para saber resolver eventuais problemas novos. O técnico é treinado para a aplicação de métodos e técnicas familiares. O engenheiro deve ser capaz de complementar a capacidade de aplicação das técnicas e metodologias conhecidas com a capacidade de resolver problemas novos. Isso exige uma postura de abertura à aprendizagem contínua, ao ser capaz de questionar e ao não ter receio do desconhecido. Este tipo de postura só pode ser adquirida através da experiência e da experimentação. Só se aprende engenharia experimentando, construindo e testando. Seja pela via de modelos analíticos ou simulados, seja através de protótipos.

Ao analisarmos estes diferentes objectivos do processo de ensino verificamos que alguns deles se dirigem mais a fornecer conhecimentos, enquanto que outros se dirigem a fomentar competências e comportamentos ou aptidões. Os primeiros, os conhecimentos, são específicos de cada área do saber e portanto de cada cadeira. Os segundos, as competências, são transversais e devem ser consideradas de forma transversal, no conjunto das cadeiras de um curso. Por exemplo, uma cultura de excelência ou é assumida pelo conjunto do curso, ou dificilmente pode ser da responsabilidade de uma única cadeira.

Nenhuma cadeira pode considerar com igual peso os diferentes objectivos acima expostos. No entanto, é desejável que ao se preparar uma cadeira se faça uma revisão dos mesmos e se tomem opções sobre o peso a dar a cada um deles. É também desejável, que ao se organizar um curso, se tenha uma visão clara das diferentes competências e aptidões que os alunos vão poder adquirir ao longo do mesmo.

III. ENQUADRAMENTO DO ENSINO DE REDES DE COMPUTADORES NA LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA DA FCT/UNL

A Licenciatura em Engenharia Informática (LEI) da FCT/UNL caracteriza-se por ser um curso generalista, estruturado em 5 anos lectivos, com praticamente nenhuma cadeira de opção antes do 2º semestre do 4º ano. Por outro lado, tem um peso significativo de cadeiras de Matemática e de Física nos primeiros anos. A área científica de Arquitectura de Sistemas Computacionais (ASC) é responsável pelo ensino dos tópicos de Arquitectura de Computadores, Sistemas de Operação, Redes de Computadores, Sistemas Distribuídos e todas as áreas afins destes temas. Em termos relativos, no quadro da LEI, a secção é responsável por 14% dos créditos a obter pelo aluno em cadeiras obrigatórias, 2% dos créditos opcionais necessariamente adquiridos pelo aluno nesta área, e ainda por mais 7% dos créditos a obter caso o aluno decida concentrar na área científica de ASC todos os créditos opcionais livres da LEI. O ensino das Redes de Computadores na LEI está subordinado à perspectiva generalista da licenciatura e ao quadro que as percentagens apresentadas caracteriza.

Assim, foi necessário distribuir o ensino das Redes de Computadores entre uma cadeira obrigatória, leccionada no 1º semestre do 3º ano — a cadeira de Redes de Computadores, e uma cadeira opcional, ao nível dos últimos anos — a cadeira de Complementos de Redes de Computadores.

Para além destas duas cadeiras, integralmente dedicadas ao ensino das Redes de Computadores, os alunos são ainda expostos a temas afins que são tratados em outras cadeiras obrigatórias da área, nomeadamente, a cadeira de Sistemas Distribuídos I que fornece uma introdução à Segurança, a Algoritmos Distribuídos e refere ainda alguns Protocolos do Nível Aplicacional e a cadeira de Teoria da Informação que trata as problemáticas da codificação, cifra e compressão de dados. Por outro lado, diversas cadeiras opcionais tratam de forma aprofundada aspectos directamente relevantes. Por exemplo, a cadeira de Segurança para Sistemas Informáticos Distribuídos trata toda a problemática da Segurança, incluindo diversos tópicos de carácter infra-estrutural como IPSec, *Firewalls*, detecção de intrusão, etc.

Para cada uma das cadeiras sobre redes da LEI foram escolhidas estratégias diferentes. A cadeira de Redes de Computadores é uma cadeira generalista, seguida por todos os alunos da LEI com, actualmente, cerca de 250 alunos inscritos por ano. Para a cadeira de Complementos de Redes de Computadores, seguida actualmente por cerca de 45 alunos por ano, foi escolhida uma estratégia de cadeira com forte pendor laboratorial. Em cada uma das cadeiras é dado um peso distinto aos diferentes tipos de objectivos e competências a adquirir. Por outro lado, o programa e a estratégia de organização do trabalho são também distintos. As secções seguintes descrevem cada uma destas cadeiras e analisam os resultados obtidos com a sua leccionação.

IV. A CADEIRA DE REDES DE COMPUTADORES

A cadeira de Redes de Computadores existe na LEI há cerca de três dezenas de anos. Inicialmente, sobre outra designação, a cadeira dava uma grande ênfase à comunicação de dados, à teoria das filas de espera, e aos níveis mais baixos do modelo OSI.

A. A cadeira de Redes de Computadores de 1992 a 2001

Em 1992 a cadeira foi significativamente reorganizada. Os protocolos usados para ilustração dos conceitos passaram a basear-se na família de protocolos TCP/IP, os exercícios práticos passaram a basear-se directamente nas bibliotecas *BSD UNIX sockets*, os exemplos de aplicações estudados passaram a ser os da Internet.

A aproximação seguida no ensino continuou, no entanto, a ser a tradicional, isto é, uma aproximação de “baixo para cima”, que começava com o nível físico e uma introdução à problemática da comunicação de dados e subia depois os diferentes níveis: nível ligação de dados, redes locais, nível encaminhamento, nível transporte e nível aplicação. A ligação entre a teoria e a prática era um pouco difícil na medida em que nas aulas práticas se estudava e utilizava a comunicação através de *sockets TCP/IP* num ambiente de rede local e se implementavam aplicações escritas na linguagem C. Estas aplicações implicavam a implementação de métodos de realização de transportes fiáveis e de encaminhamento usando o protocolo UDP. O resultado não era muito satisfatório pois era necessário “impedir” os alunos de usarem *sockets TCP* e a teoria e a prática só convergiam verdadeiramente no final do programa da cadeira. As aulas consistiam em 3 horas de aulas teóricas e 3 horas de aulas laboratoriais por semana.

A bibliografia de base era constituída pelo livro clássico de A. Tanenbaum [1], então na 2ª edição, de 1989, e os também clássicos livros de D. Comer e W. Stevens [6, 5] para apoio da parte prática. A avaliação dos trabalhos laboratoriais, baseada em dois ou três mini projectos, era eliminatória e pesava entre 15% e 25% para a formação da nota final. Comparando com a actualidade, o número de alunos era bastante menor, os alunos eram mais homogéneos e com uma maior sensibilidade para aspectos do foro da comunicação de dados. A familiaridade com a utilização das redes de computadores era, no entanto, muito menor que na actualidade.

Por volta do ano 2000, ao mesmo tempo que o número de alunos começava a subir significativamente, a cadeira estava a tornar-se uma barreira para a grande maioria dos mesmos. No ano lectivo de 2000/2001, 131 alunos frequentaram a cadeira, dos quais apenas 75 obtiveram frequência das aulas práticas (57%) e 35 ficaram aprovados (27% dos inscritos). Mesmo considerando apenas o universo dos alunos com frequência das aulas práticas, a percentagem de alunos aprovados foi de 47%.²

Devido ao aumento do número de alunos admitidos na LEI em anos anteriores, a partir do ano 2001 deu-se um ainda maior aumento do número de alunos inscritos na cadeira. Ao mesmo tempo, a Internet tornou-se um serviço vulgarizado entre os alunos universitários. Com o aumento do número de alunos verificou-se que estes eram cada vez mais heterogéneos, com cada vez menos sensibilidade para aspectos mais do âmbito da comunicação de dados, ao mesmo tempo que todos eram utilizadores assíduos da Internet e, sobretudo os que viviam em residências, montavam pequenas redes locais, algumas vezes extravasando o edifício onde estava a principal ligação à Internet. Nesta nova situação, a aproximação seguida começou a revelar-se cada vez mais difícil e os níveis de insucesso passaram a ser verdadeiramente insustentáveis. As alternativas, sem nenhuma mudança de fundo, só poderiam ser: ou baixar o nível de exigência, ou tornar a cadeira um obstáculo quase intransponível para a maioria dos alunos.

B. A cadeira de Redes de Computadores de 2001/2002 até à actualidade

Foi neste altura que contactámos com a 1ª edição do livro de Kurose e Ross [2] e resolvemos adoptar a estratégia sugerida pelo mesmo, isto é, uma estratégia “de cima para baixo”, que dava uma grande ênfase inicial à arquitectura das redes de computadores, às aplicações e aos protocolos de transporte, seguindo depois para o nível rede e o nível ligação de dados, incluindo neste as redes locais.

² Muitos alunos não conseguiam atingir os objectivos mínimos para verem os seus mini projectos laboratoriais aprovados e desistiam de se apresentar a qualquer avaliação prática, pelo que não obtinham frequência da cadeira e estavam impedidos de se apresentar a exame.

Assim, estabelecemos que os objectivos principais passaram a ser o aluno obter competência e ter uma visão clara dos principais aspectos arquitecturais e princípios metodológicos que governam as redes de computadores, a saber: a arquitectura da rede e a sua razão de ser dada a necessidade da escala, a razão de ser de se basear o funcionamento interno da rede na comutação de pacotes, o modelo cliente / servidor e o modelo P2P e como se podem realizar aplicações com os mesmos, os princípios fundamentais de como compensar a falta de fiabilidade e capacidade da rede, os princípios do encaminhamento (*routing*), o controlo e compensação de erros e métodos de partilha de canais de transmissão de dados, em particular nas Redes Locais.

Ao mesmo tempo procurámos responder às expectativas e curiosidade dos alunos dando-lhes a oportunidade de experimentarem, compreenderem e desenvolverem aplicações para a Internet e observarem o funcionamento concreto dos protocolos mais comuns, tal como é sugerido pelo próprio livro na sua última edição. Para este efeito os alunos passaram a realizar diversos trabalhos práticos relacionados com o protocolo HTTP, com a transmissão de vídeo em tempo real através de UDP (com e sem *multicasting*), com o encaminhamento, com a análise de protocolos concretos através de um analisador de pacotes (*ethereal*) e realização de exercícios analíticos sobre desempenho de protocolos.

As aulas teóricas consistem em 3 horas de aula expositiva semanal. As aulas práticas passaram para 2 horas semanais. Os trabalhos práticos estão organizados de tal forma que os alunos apenas têm que complementar ou modificar soluções parciais e são previstos para durarem no máximo duas semanas de trabalho laboratorial cada um. As linguagens de programação usadas são Java e C. A avaliação de cada trabalho laboratorial é feita presencialmente na última aula prática afectada ao trabalho e apenas tem dois resultados possíveis: sucesso ou insucesso. Os alunos têm de ter presença nas aulas e sucesso numa elevada percentagem dos trabalhos. A nota final baseia-se essencialmente na nota do exame final. Os trabalhos práticos apenas se destinam a consolidar a teoria.

C. Balanço e comparação

Se retomarmos os objectivos do ensino enunciados na secção 2, é claro que esta cadeira fornece bases para uma compreensão dos princípios metodológicos de concepção das redes de computadores, satisfaz a curiosidade dos alunos sobre como as mesmas funcionam, dá algumas bases sobre o desenvolvimento de aplicações distribuídas a executarem sobre a Internet, desfaz bastantes mistérios sobre o funcionamento de uma rede e é tudo. Não fornece, nem poderia fornecer, competências muito específicas do ponto de vista da empregabilidade dos alunos ou da sua aptidão para a realização de projectos.

O balanço que realizamos após 3 edições da cadeira nestes moldes é bastante positivo. Com efeito, a relação entre a teoria e os exercícios práticos passou a ser mais directa e efectiva e os alunos aderiram com maior facilidade ao estilo adoptado, tendo uma maior participação e assiduidade nas aulas práticas que anteriormente. No ano lectivo de 2004/2005 os resultados obtidos foram os seguintes: número de alunos inscritos 246, número de alunos com frequência 230 (93%)³, número de alunos aprovados 123 (50% dos inscritos), número de alunos aprovados sobre os com frequência (53%). Na Tabela 1 apresenta-se uma visão sintética da comparação das duas versões da cadeira de redes de Computadores.

A nossa experiência também mostra que, quando o número de alunos aumenta significativamente, é impossível deixar de considerar que é necessário que os professores tomem a seu cargo uma parte significativa do planeamento do trabalho quotidiano dos alunos.

³ Os alunos com frequência são os alunos que frequentaram as aulas práticas e apresentaram os trabalhos.

Tabela 1 – Comparação das duas versões da cadeira de Redes de Computadores

<i>Cadeira de Redes de Computadores</i>	<i>Versão até 2000/01</i>	<i>Versão corrente</i>
<i>Objectivos qualitativos da formação</i>	Compreensão dos princípios e do funcionamento, aquisição de informação e de “saber fazer” em protocolos, adquirir confiança para projectos mais exigentes	Compreensão dos princípios e do funcionamento, aquisição de familiaridade com a tecnologia
<i>Caracterização do programa teórico</i>	Estudo, de “baixo para cima”, e em sequência, dos níveis OSI	Estudo, de “cima para baixo”, dos protocolos TCP/IP, da Internet e das aplicações distribuídas
<i>Caracterização do programa prático</i>	2 a 3 mini projectos utilizando <i>BSD Unix sockets</i> , UDP e C para desenvolvimento de protocolos de transporte fiável e de encaminhamento	Vários exercícios de 2 a 4 horas envolvendo HTTP, TCP, RTP, UDP, Java e C, simulação de uma rede, <i>ethereal</i> e análise de desempenho por via analítica
<i>Relação entre a teoria e a prática</i>	Alguma descoordenação	Intimamente coordenadas
<i>Aulas teóricas por semana</i>	3 horas	3 horas
<i>Aulas práticas por semana</i>	3 horas	2 horas
<i>Trabalho prático exigido fora das aulas práticas</i>	Algum, sobretudo se o aluno tinha falta de preparação	Pouco
<i>Assiduidade dos alunos às aulas teóricas</i>	Média, a tender para baixa	Média, a tender para baixa
<i>Assiduidade dos alunos às aulas práticas</i>	Média, a tender para baixa	Elevada
<i>Alunos inscritos</i>	131	246
<i>Alunos com frequência das aulas práticas</i>	75 (57%)	230 (93%)
<i>Alunos aprovados</i>	35 (27%)	123 (50%)
<i>% de alunos aprovados nos alunos com frequência</i>	47%	53%
<i>% de alunos que consideraram a cadeira acessível</i>		50% (38 respostas ao inquérito)
<i>% de alunos que consideraram a cadeira globalmente boa ou suficiente</i>		87% (38 respostas ao inquérito)

V. A CADEIRA DE COMPLEMENTOS DE REDES DE COMPUTADORES

Ao mesmo tempo que a cadeira de Redes de Computadores era adaptada à nova realidade, mais claro se tornava a insuficiência da oferta de formação, nesta área, na LEI, e também mais claro se tornava que a LEI necessitava de mais cadeiras opcionais. Decidimos então avançar com novas cadeiras opcionais, nomeadamente em Segurança e em Redes de Computadores. Surgiu assim a cadeira opcional de Complementos de Redes de Computadores cujos objectivos eram bastante diferentes dos da cadeira generalista de Redes de Computadores.

A. Princípios orientadores

Os princípios orientadores desta nova cadeira, basicamente dirigida a alunos finalistas, ou quase finalistas⁴, consistem em dar uma formação que, sem menosprezar os princípios metodológicos e arquitecturais do desenho de redes de computadores, forneça igualmente competências que só podem ser adquiridas num quadro *hands-on*: saber fazer, conhecer a tecnologia, experimentar as ferramentas, não recear o desconhecido. Adicionalmente, se possível, e sem sacrificar os outros objectivos, as ferramentas usadas devem ser familiares e correntes na indústria. Alguns destes objectivos recomendariam uma cadeira essencialmente laboratorial, outros recomendam que a teoria não seja desprezada. O desafio consistiu em tentar juntar ambos os estilos numa cadeira semestral, com 2 horas de aulas teóricas e 2 horas laboratoriais por semana.

Foi desde logo estabelecido que a cadeira deveria ser suportada num laboratório de qualidade, permitindo que cada grupo de alunos tivesse acesso a uma bancada munida de várias estações de trabalho, um *hub*, um *switch* e um *router*.⁵ Todos estes equipamentos são de modelos e marcas usadas na indústria e as suas possibilidades a nível de software devem ser tão completas e actuais quanto possível. A figura 1 mostra uma das 8 bancadas idênticas existentes no laboratório.

Finalmente, os diferentes equipamentos estão interligados dentro da bancada e entre bancadas através de ligações baseadas em cabos UTP (interfaces RJ45) e série (com interfaces RS232/V.24 e V.35).



Fig. 1. Fotografia de uma bancada do laboratório de Complementos de Redes de Computadores constituída por várias estações de trabalho com duas interfaces *ethernet*, 1 *hub*, 1 *switch* Cisco 2950 e 1 *router* Cisco 2600 com interfaces *ethernet* e 4 interfaces série.

B. Descrição da cadeira

A cadeira destina-se a alunos com maturidade e autonomia. Poderia ser seguida por alunos sem conhecimentos prévios em Redes de Computadores caso estes estivessem dispostos a um grande trabalho suplementar, mas tal é desencorajado. Para além das aulas teóricas, onde é exposta a matéria abaixo referida, existe uma importante componente laboratorial, concretizada em aulas laboratoriais, e ainda trabalho suplementar do tipo mini projecto para realizar extra aulas.

Do ponto de vista da matéria teórica, a cadeira é formada por vários capítulos, agrupados em 3 partes, que se encontram dispersas por diversas referências bibliográficas [1,2,3,4].

⁴ Esta cadeira faz parte das cadeiras igualmente oferecidas como opção aos alunos da Pós-graduação e do Mestrado em Engenharia Informática e pode ser frequentada por alunos do 4º ano.

⁵ Apesar de não ter sido ainda utilizado nos exercícios actuais, cada bancada dispõe igualmente de um *Access Point* (AP).

Parte I – Transmissão e comutação de pacotes — ligações directas e redes comutadas

- *Transmissão e comutação de pacotes em redes locais e metropolitanas.* Métodos de controlo de acesso. *Ethernet* e seu estudo detalhado. Tecnologias para contornar as limitações em redes locais e metropolitanas.
- *Transmissão e comutação de pacotes em redes sem fios.* Controlo de acesso ao meio em redes 802.11. Redes celulares - GSM. Mobilidade e seus problemas. IP móvel.
- *Transmissão e comutação de pacotes em infra-estruturas tradicionais de telecomunicações.* S-TDM — *Synchronous Time Division Multiplexing*. SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*. Redes ATM e redes *Frame-Relay*. MPLS.

Parte II – Encaminhamento e qualidade de serviço em redes IP

- *Encaminhamento (routing).* Algoritmos. Protocolos: RIP e OSPF. Conceitos de encaminhamento externo e hierárquico. Protocolo BGP. Conceitos, base, algoritmos e protocolos de encaminhamento em redes *multicasting*.
- *Aplicações Multimédia.* Aplicações e fluxos multimédia. A problemática da qualidade de serviço. Protocolos RTP, RTCP, SIP e H.232.
- *Controlo da saturação e qualidade de serviço.* Mecanismos para a implementação de políticas de qualidade de serviço. Disciplinas de gestão das filas de espera. Condicionadores de tráfego (*shapers*). Controlo de admissão. *Integrated services* e *Differentiated services*.

Parte III – Segurança e gestão de redes IP

- *Técnicas de segurança.* Redutos de segurança e formas de realização. Segurança das comunicações. IPsec. VPNs. Segurança e mobilidade 802.11.
- *Gestão de redes.* Infra-estruturas e modelos para gestão de redes. Estudo de caso: SNMP. Outras ferramentas de apoio à gestão de redes.

A primeira parte da matéria versa a tecnologia das infra-estruturas de transmissão de dados. Trata-se de uma parte essencialmente dedicada aos canais de comunicação, isto é, aos blocos de base das redes IP (mesmo quando estas infra-estruturas de transmissão de dados são elas próprias redes de comutação de pacotes). Os capítulos apresentam as diferentes tecnologias mas também evidenciam aspectos essenciais como: as técnicas de *multiplexagem* nos diferentes tipos de meios partilhados fixos e móveis, desempenho dos canais e sua caracterização, encaminhamento e qualidade de serviço, etc.

A segunda parte da cadeira é dedicada ao “core” das redes de computadores baseadas em IP: encaminhamento e qualidade de serviço. Esta parte começa por estudar os princípios subjacentes aos algoritmos de encaminhamento mais conhecidos assim como a sua instanciação concreta nos protocolos RIP, OSPF e BGP. Os algoritmos de encaminhamento *multicasting* e os protocolos que os concretizam são igualmente referidos. São depois introduzidas as técnicas usadas para transmissão de fluxos multi-média pelas redes de pacotes e suas exigências específicas, partindo-se depois para o estudo da problemática da qualidade de serviço.

Finalmente, a última parte é dedicada aos aspectos complementares que constituem ferramentas fundamentais do arquitecto de redes de computadores: mecanismos de segurança e ferramentas de gestão. É fácil reconhecer que se optou claramente por não tratar aspectos mais relacionados com a periferia da rede: níveis transporte e aplicação. Esta opção é função do tempo disponível.

A parte prática da cadeira está intimamente relacionada com a parte teórica e é constituída por trabalhos onde todas as bancadas cooperam para realizar configurações de rede particular e se fazem medidas e testes com diversas ferramentas (*iperf*, *tcpdump*, *ethereal*, *debug* Cisco, etc.). Os estudantes elaboram, depois das aulas, relatórios com resumos da teoria e apresentação e discussão dos resultados. Por exemplo, num dos trabalhos práticos é montada uma interligação de redes locais baseada em linhas série e com *routing unicast* baseado em OSPF e *multicasting* baseado em PIM e são depois gerados diversos fluxos de tráfego RTP e TCP e medidos os tempos de trânsito, percas de pacotes e *jitter*, com diferentes políticas de gestão das filas de espera e da qualidade de serviço.

A avaliação é seguinte: o exame final vale 50%, 25% são obtidos na base da classificação dos relatórios das aulas práticas e 25% são obtidos na base da classificação do mini projecto, realizado fora das aulas.

C. O trabalho laboratorial e o mini projecto

A componente presencial e directamente assistida do trabalho laboratorial consiste na realização de um conjunto de trabalhos práticos com a duração típica de 2 ou 4 horas. Estes trabalhos destinam-se a levar os alunos a experimentarem directamente o que foi discutido nas aulas teóricas e são os seguintes:

- Montagem de redes locais baseadas em *hubs* e baseada em *switchs*. Análise dos endereços, máscaras, pacotes e protocolos através dos programas *tcpdump* e *ethereal*.
- Realização de medidas de tempos de trânsito, capacidade, *jitter* e taxa de perda de pacotes com a rede pouco carregada e muito carregada. Comparação dos comportamentos dos dois tipos de redes (*hubs* e *switchs*). Análise das implicações da utilização ou não de canais *full-duplex*.
- Árvores de cobertura e algoritmos para a sua construção. Protocolo STP. Parametrização do sistema IOS dos *switchs* Cisco. Algoritmos de aprendizagem. Discussão sobre capacidade e optimização de uma rede comutada.
- Análise e parametrização do protocolo DHCP. Sistema IOS e protecção de um *router* Cisco.
- Montagem de uma rede WAN com encaminhamento baseado em RIP. Análise do protocolo e seu comportamento. Encaminhamento multi-caminho, testes e medidas. Tempo de convergência. Tradução de endereços via NAT.
- Montagem de uma rede WAN com encaminhamento baseado em OSPF. Análise do protocolo e seu comportamento. Encaminhamento multi-caminho, testes e medidas. Tempo de convergência.
- Políticas de escalonamento de pacotes FIFO e *fair queuing* — teste e medidas de desempenho na presença de vários fluxos.
- Protocolo IGMP. Encaminhamento *multicasting* numa WAN baseado no protocolo PIM.
- Fluxos de tráfego multimédia e outros num ambiente de *multicasting* e estudo de políticas de escalonamento baseadas em *fair queuing* e *class based fair queuing*. Medidas e estudo comparativo.
- Segurança baseada em filtragem de pacotes com e sem estado em IOS Cisco.
- O protocolo SNMP. Activação dos agentes e consulta através de clientes.

Convém referir que, dada a dimensão dos trabalhos e o facto que muitos deles implicam a coordenação das diferentes bancadas, a intervenção do docente na resolução parcial dos problemas e na recolha de medidas é crucial para o êxito dos mesmos. Por outro lado, a experiência é profundamente gratificante dado ser possível observar no laboratório a aplicação directa dos princípios teóricos e discutir com os alunos os resultados obtidos que, frequentemente, são muito ricos em ensinamentos. A figura 2 mostra uma aula prática.

A outra parte do trabalho é constituída por um mini projecto para realizar em grupo. Esta componente do trabalho tem variado de ano para ano. Na primeira edição os alunos desenharam e dimensionaram um *backbone* regional. Na última edição foram propostos diversos trabalhos como por exemplo: autenticação em redes sem fios através de 802.11i, autenticação em redes comutadas através de 802.1x, protocolos Radius e LDAP, redes sem fios ad hoc e encaminhamento IP, protocolo SNMP e sua utilização, simulação de redes através de ns2, testes de desempenho através do *Distributed Benchmark System*, protocolo SIP e telefonia IP, *multicasting* em redes sem fios, etc.

E. Resultados

Incluindo o presente ano lectivo, a cadeira teve quatro edições tendo a primeira sido realizada em 2001/2002. Em 2001/2002, a cadeira teve 19 alunos inscritos, 16 foram avaliados (84%) e 15 foram aprovados (93% dos avaliados e 78% dos inscritos). No ano lectivo de 2003/2004 a cadeira teve 26 alunos inscritos, 20 foram avaliados (77%) e 17 foram aprovados (85% dos avaliados e 65% dos inscritos). Este ano a cadeira tem 47 alunos inscritos, tendo sido admitidos a exame final 38. O número de alunos de pós-graduação ou mestrado é geralmente de cerca de 15% em cada edição.



Fig. 2. Panorama geral do laboratório de redes

A subida do número de alunos deve-se ao aumento do número de bancadas disponíveis. Todos os anos existem mais alunos a desejarem frequentar a cadeira do que lugares disponíveis e geralmente tem sido feita uma triagem baseada na média dos candidatos e na nota da cadeira de Redes de Computadores. Dado que alguns alunos acabam por desistir da cadeira nas primeiras semanas, admitem-se geralmente mais inscrições que os lugares disponíveis.

Não existem inquéritos realizados sobre a cadeira mas os comentários que tem sido possível recolher têm sido muito positivos. Do ponto de vista do docente, trata-se de uma cadeira muito trabalhosa mas extremamente gratificante, dado o grau de integração entre a teoria e a prática.

Com a disponibilidade no final do presente ano lectivo de um total de 8 bancadas, pensamos que o número de alunos estabilizará nos 50 anuais, para os quais são previstos dois turnos práticos semanais e um único turno teórico.

F. Dificuldades encontradas

Como não poderia deixar de ser, uma cadeira deste tipo apresenta diversos desafios. Desde logo o investimento necessário em equipamento e espaço laboratorial dedicado é significativo mas, como já foi referido, tem sido possível realizá-lo. A primeira versão do laboratório tinha 4 bancadas, a actual 8.

Uma outra dificuldade prende-se com o facto de que os trabalhos laboratoriais exigem a coordenação de várias bancadas e só chegam aos objectivos delineados se o docente tiver uma intervenção muito forte, quer na preparação das bancadas, quer na coordenação do trabalho e na manutenção do ritmo de progressão. Para além de as aulas práticas serem muito exigentes, é muitas vezes necessário ajudar alguns grupos a avançar, ou mesmo realizar-lhes directamente a solução, para que o conjunto da aula funcione. Este aspecto não combate tão eficazmente quanto seria desejável a passividade de alguns alunos. Tal passividade, assim tolerada, é negativa para a aprendizagem.

Um outro aspecto que não tem funcionado tão bem quanto seria desejável são os mini projectos. Para que o mini projecto funcione, o mesmo tem de ser realizado fora das aulas. Como os alunos têm uma grande carga horária ou já estão a realizar o projecto de fim de curso, preferem trabalhar em casa. Ora isso só é possível com mini projectos que não necessitem de equipamentos especiais. Assim, os projectos que mais têm cativado os alunos são os de índole mais teórica.

Muitas vezes os mini projectos, mesmo tratando-se de casos aplicados, ficam-se pela realização de sínteses do tema. Este é um aspecto que tem de ser revisto e encontrada uma solução se possível.

Finalmente, outra dificuldade relaciona-se com a organização do trabalho dos alunos. Alguns alunos realizam ou tentam realizar esta cadeira ao mesmo tempo que bastantes outras cadeiras. O aluno tipo, que estaria a realizar o trabalho de fim de curso e mais um ou duas cadeiras opcionais não é frequente. É também comum que os alunos realizem esta cadeira ao mesmo tempo que outras cadeiras com trabalhos laboratoriais pesados. Quando tal é o caso, o trabalho do mini projecto é muito afectado. Este aspecto também necessita de ser devidamente considerado em futuras edições.

VI. CONCLUSÕES, EXPERIÊNCIAS RELACIONADAS E TRABALHO FUTURO

Neste artigo apresentámos uma experiência multifacetada de ensino das Redes de Computadores no quadro de uma Licenciatura generalista em Engenharia Informática. Apresentámos uma primeira cadeira, obrigatória e de carácter introdutório, relatámos a nossa experiência na sua gestão durante vários anos e justificámos o porquê da sua evolução e do seu figurino actual.

A evolução que esta cadeira tem sofrido não é justificada, senão secundariamente, pela evolução da tecnologia. Os aspectos centrais que justificam a sua mudança de figurino relevam essencialmente da evolução da envolvente: evolução do número, da heterogeneidade e das expectativas dos alunos, e evolução da sociedade em geral. Provavelmente, este é mais um sinal dos tempos, em que a noção de *time to market* chegou ao Ensino Superior. Esta necessidade constante de adaptação não significa que exista alguma mudança fundamental quanto aos princípios e metodologias que os alunos devem adquirir e interiorizar. Significa que a envolvente social e produtiva vai exigir maior produtividade, escolha criteriosa dos objectivos e das competências a fornecer, e novas estratégias para atingir estes objectivos.

Apresentámos igualmente uma cadeira de carácter especializado, dirigida a alunos finalistas ou semi finalistas. Para esta segunda cadeira, os objectivos e métodos de trabalho seleccionados são bastante diferentes, apesar de alguns tópicos serem comuns às duas cadeiras. Nesta segunda cadeira damos mais ênfase aos objectivos da experimentação laboratorial e à preparação prática dos alunos. Ao mesmo tempo que os aspectos centrais, metodológicos e de preparação a longo prazo, continuam a estar presentes, procuramos preparar os alunos de tal forma que estes se valorizem, e sejam valorizados, no mercado de trabalho.

Esta estratégia exige uma integração entre a teoria e a prática, numa zona de fronteira, com uma margem de manobra relativamente estreita. Com efeito, trata-se de uma cadeira atípica pois não é uma cadeira puramente laboratorial, praticamente sem aulas teóricas e com pouca ênfase na teoria, como a sugerida em [8]. Por outro lado, também não se trata de uma cadeira essencialmente teórica, ou em que o trabalho laboratorial foi desenhado de forma totalmente subordinada à compreensão dos aspectos metodológicos. Finalmente, a cadeira também não assume a forma de um curso de certificação num equipamento de um fabricante⁶.

Um outro exemplo de cadeira que segue igualmente uma estratégia de grande integração entre a teoria e uma experiência laboratorial realista, do ponto de vista da indústria, é a descrita em [7]. Este tipo de cadeiras exigem a disponibilidade de equipamentos actualizados que os alunos possam manipular com facilidade, fora do constrangimento do laboratório universitário controlado e de acesso restrito. Tal é possível em muitos ramos da Engenharia Informática pois os equipamentos pessoais dos alunos têm características adequadas. Infelizmente, no caso das Redes de Computadores é mais difícil, fora do quadro de projectos de simulação, exigir aos alunos que trabalhem em casa sobre mini projectos. A experiência descrita em [7] passa pelo empréstimo de equipamentos aos alunos durante o funcionamento da cadeira. Devido a esta dificuldade, ainda não conseguimos acertar totalmente o passo com os trabalhos que os alunos devem fazer fora do laboratório especializado. Também é necessário considerar, de forma ponderada, os créditos das cadeiras deste tipo e o tempo que os alunos lhes podem dedicar.

Com o actual processo de adaptação do sistema de Ensino Superior de Engenharia aos ciclos de Bolonha, existem condições excelentes para reflectir e por em questão as práticas correntes sobre a forma como é realizado o ensino das Redes de Computadores ao nível dos 1º e 2º ciclos.

No caso da Engenharia Informática, parece-nos inevitável que o 1º ciclo seja necessariamente generalista. Se uma dada escola optar por querer ter um elevado número de alunos no 1º ciclo, terá de fazer face aos problemas que nós encaramos na cadeira de Redes de Computadores, e a nossa experiência parece-nos um ponto de partida a considerar. Organizações da matéria como as sugeridas em [1, 3, 4 e 9] parecem-nos mais difíceis de concretizar nesses casos, apesar de não impossíveis.

No caso do 2º ciclo é desejável que o cenário seja distinto. Os cursos devem ser mais focalizados e os alunos deverão ser mais homogéneos e em menor número. Haverá que dar bastante ênfase a uma formação que forneça competências viradas para a necessidade de trabalhar próximo da fronteira do conhecimento tecnológico e até voltadas para a inovação. No nosso ponto de vista, corrigidas as deficiências apontadas, a cadeira de Complementos de Redes de Computadores e a cadeira descrita em [7] são bons exemplos de cadeiras numa posição intermédia num 2º ciclo. Eventualmente, poderão também ser usadas como cadeiras avançadas opcionais de um 1º ciclo não generalista.

⁶ Esta fórmula foi-nos proposta como forma de rentabilizar o laboratório existente.

VII REFERÊNCIAS

- [1] S. Tanenbaum, “Computer Networks - 4th Edition,” Prentice-Hall, 2003.
- [2] James F. Kurose and Keith W. Ross, “Computer Networking - A Top-Down Approach Featuring the Internet,” Addison Wesley Pearson, Inc., 3rd Edition, 2005.
- [3] William Stallings, “Data & Computer Communications - 7th Edition,” Prentice-Hall Pearson, 2004.
- [4] Larry L. Peterson and Bruce S. Davie, “Computer Networks – A Systems Approach – 3rd Edition,” Morgan & Kaufman, 2003.
- [5] W. R. Stevens, “TCP/IP Illustrated, Volume 1 — The Protocols,” Addison-Wesley, 1994.
- [6] D. E. Comer et al., “Internetworking with TCP/IP — Volume III — Client-server programming and applications,” 2nd Edition, Prentice-Hall, 1996.
- [7] Scott F. Midkiff, “An Experimental Course in Wireless Networks and Mobile Systems,” IEEE Pervasive Computing, January – March 2005, pp 9-13.
- [8] S. Panwar et al. “TCP/IP Essentials - A Lab-Based Approach,” Cambridge University Press, 2004.
- [9] S. Keshav, “An Engineering Approach to Computer Networking,” Addison-Wesley, 1997.
- [10] Página da cadeira de Redes de Computadores: <http://asc.di.fct.unl.pt/rc>
- [11] Página da cadeira de Complementos de Redes de Computadores: <http://asc.di.fct.unl.pt/crc>