

A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS E DAS ENGENHARIAS: DOS LABORATÓRIOS REAIS À EXPERIMENTAÇÃO ONLINE

MARIA TERESA RESTIVO¹

1. A EXPERIMENTAÇÃO EM CIÊNCIAS E EM ENGENHARIA – QUE RELEVO?

David Kolb publicou, em 1984, o livro *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, onde discute a Teoria Experiencial de Aprendizagem (ELT) e o famoso Ciclo de Aprendizagem (ELC) a que ficou associado o seu nome. No seu modelo de aprendizagem identifica quatro estilos distintos integrados nesse ciclo e, para cada um, aponta as melhores condições para o processo de se trabalhar o conhecimento. Para Kolb, o conhecimento é elaborado a partir da transformação da experiência e ocorre através de um processo contínuo, envolvendo a vivência da experiência, a sua observação e reflexão, a conceptualização e generalização e a experimentação de novas situações. O conhecimento faz-se através de um processo cíclico constante. Numa prática ideal da atividade de ensino, o professor deveria "percorrer" todo esse ciclo para garantir o enquadramento

¹ Investigadora Principal da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; membro integrado do Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica

dos diferentes estilos de aprendizagem dos seus estudantes, procurando usar as estratégias que melhor se lhes ajustem (Kuri, 2006; Stice, 1987). Assim, tomando como “ponto de partida”, dentro do (ELC), a Experiência Concreta (EC), na qual os estudantes necessitam de um envolvimento completo em novas experiências, temos depois a Observação Reflexiva (OR), em que aqueles refletem sobre as novas informações e experiências, examinando-as de várias perspectivas. Passa-se seguidamente à conceptualização Abstrata (CA), onde os estudantes trabalham com base na lógica e nas ideias para chegarem à compreensão dos problemas e situações, e finalmente à Experimentação Ativa (EA), em que experimentam ativamente com base em teorias previamente conhecidas e, assim, resolvem problemas e tomam decisões (cf. figura 1). Entre estes quatro estádios do ciclo aparecem os diferentes estilos identificados por Kolb: divergentes, assimiladores, convergentes e acomodadores. Os indivíduos divergentes, fundamentalmente sensitivos e observadores, preferem observar a realizar, tentando deduzir informação e usar a imaginação para resolver os problemas. Os assimiladores, fundamentalmente observadores e pensadores, optam pela dedução lógica e trabalham ideias e conceitos – preferem explicações claras a atividades práticas. Os convergentes, fundamentalmente pensadores e ativos, demonstram grande competência na solução de problemas práticos baseados nos seus conhecimentos. Finalmente os acomodadores, essencialmente ativos e sensitivos, assentam em processos intuitivos e, baseando-se em análises existentes, passam à realização experimental (cf. figura 1).

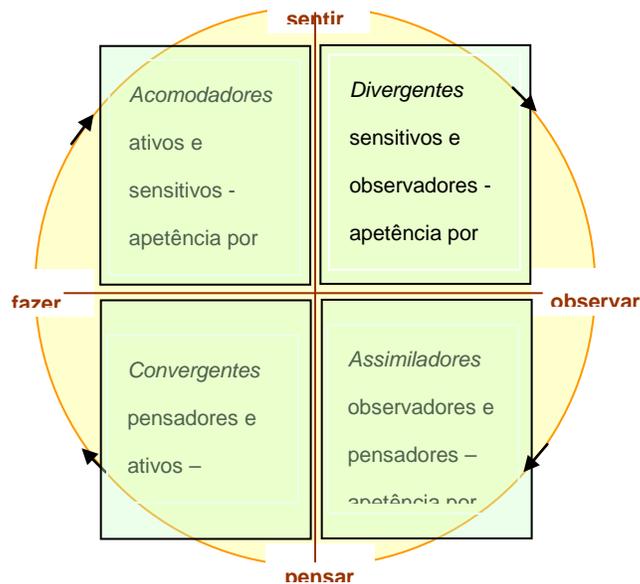


Fig. 1 – Estilos de aprendizagem de Kolb

A figura 2 é aqui incluída por ser interessante observar a relação estabelecida entre o ELC e as regiões do córtex cerebral (Kolb & Kolb, 2005).

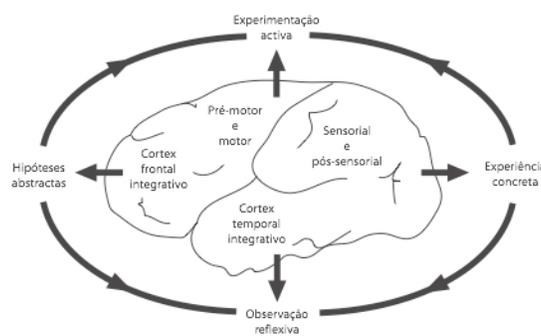


Fig. 2 – O ciclo de aprendizagem experiencial e as zonas do córtex cerebral

Os indivíduos apresentam, de uma forma geral, um equilíbrio entre algumas das características dos diferentes tipos, sem se apresentarem como sendo puramente divergentes ou puramente assimiladores, por exemplo. Mas essa caracterização individual será altamente influente no seu desempenho quando devidamente enquadrada e, portanto, no seu futuro profissional, bem como na sua realização pessoal.

Contudo, quando atualmente se lida com “grandes números”, esta aproximação do processo de ensino/aprendizagem não pode ser feita de um modo personalizado. Porém, muito poderá ser conseguido através da diversidade de atividades a propor e em que os estudantes podem ser envolvidos, no âmbito de determinada disciplina. Também deve ser feito um esforço na perspetiva da avaliação – neste caso, uma boa diversidade de componentes de avaliação pode permitir um maior equilíbrio no seu processo (Restivo et al., 2004). Neste sentido, acredita-se que o critério de avaliação por prova única – exame – não pode claramente satisfazer toda a teoria que tem sido desenvolvida em torno da Aprendizagem Experiencial.

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) tem dedicado, desde a década de noventa, um cuidado especial à formação dos seus docentes (entre 1998 e 2012 – foram realizados cerca de 157 cursos, workshops e seminários, totalizando 3034 horas, frequentados por mais de 5394 formandos), às metodologias de ensino/aprendizagem e seu

entrosamento com as modernas ferramentas das tecnologias de informação (TI) e aos critérios de avaliação implementados nas disciplinas dos seus diversos planos de estudo.

Na Unidade Curricular de Instrumentação para Medição, com uma forte componente experimental, a conceção de atividades hands-on enquadra-se na perspetiva da teoria construtivista de Jean Piaget, pois enfatiza a criação de dispositivos experimentais que ajudem à construção de modelos mentais baseados na observação prática dos conceitos e dos princípios ministrados nas sessões teóricas – ou seja, que proporcionem ao estudante a ligação entre a teoria e a realidade. Também estão amplamente presentes nas especulações mais recentes baseadas na Teoria Experiencial de Aprendizagem. E estas atividades serão tanto mais importantes quanto mais consigam incutir nos estudantes a capacidade de resolverem problemas práticos, bem como o enriquecimento dos seus conhecimentos teóricos e a sua sedimentação, por oposição às formas de conhecimento abstrato e tão frequentemente volátil (Easen et al., 1955; Leitão, 2007). Esta é uma conclusão já muito antiga, expressivamente enunciada por Confúcio (451 A.C.): “Ouço, e esquecerei. Vejo, e talvez recorde. Faço, e compreenderei”. De facto, a atividade experimental desempenha um papel fundamental no ensino e, assim, clara e particularmente em qualquer campo do ensino das ciências e das engenharias.

Em jeito de síntese, pode concluir-se que a metodologia clássica do ensino de conceitos científicos, meramente ilustrativa e confirmativa, associada a

uma perspectiva de ensino de simples recurso à “solução de problemas em papel”, traduz-se, cada vez mais, em resultados menos satisfatórios e num maior desinteresse por parte dos estudantes. Constata-se que estes, em geral, demonstram algum sucesso se as questões teóricas ou práticas que lhes são colocadas obedecerem ao padrão para que foram treinados, sem adquirirem contudo técnicas de estratégia, interpretação e indagação. As mesmas questões, quando equacionadas de um modo distinto, ou a discussão de um problema que não conduza a resultados “expressos por números” e “sensibilizadores”, não conduzem geralmente os estudantes a um bom desempenho. Reveste-se pois, de enorme relevo, uma abordagem de ensino que permita e obrigue o estudante a ter um espaço próprio – ganho à custa da solicitação isolada e em grupo de um espírito de aprendizagem vivo, ativo e atento.

É indiscutível que a compreensão conceptual foi, ao longo da história da humanidade, extremamente facilitada pelo conhecimento adquirido por via experimental. É também essa a via pela qual qualquer ser humano aprende, com uma taxa de aquisição de conhecimento elevadíssima, nos seus primeiros anos de vida. A atividade experimental é pois de fundamental importância em qualquer ramo do conhecimento, e particularmente em áreas como as da Ciência e das Engenharias.

A participação dos estudantes em atividades experimentais que sigam metodologias de I&D promove o uso, a discussão, a interpretação e a indagação de técnicas, procedimentos e conceitos, tornando ainda possível a percepção de características do espírito científico e exercitando as capacidades de análise e de resolução de problemas. Este treino contribuirá para o desenvolvimento do espírito crítico e criativo dos jovens diplomados, preparando-os para a análise e para a busca de soluções para problemas. As particularidades referidas podem ser especialmente exploradas, traduzindo-se ainda por uma maior riqueza de conhecimento quando no âmbito de atividades experimentais em matérias de interface. Nesta perspetiva se baseiam as metodologias de ensino assistido por projeto (PBL) e, mais recentemente, o ensino assistido por projeto multidisciplinar.

Estando a FEUP e a Universidade do Porto sensibilizadas para todas estas questões desde há muito tempo, não poderiam deixar de equacionar e desenvolver capacidades na utilização de tecnologias que permitam colocar à mão de todos a experimentação. Deste modo, não só facilita a atividade dos seus estudantes, como também atua como pólo dinamizador da experimentação, conferindo a qualquer utilizador o livre acesso à sua experimentação online.

2. A EXPERIMENTAÇÃO ON-LINE NO ENSINO DE ENGENHARIA

A disponibilização dos meios oferecidos pelas tecnologias de informação e comunicação veio trazer ao ensino, e em particular ao ensino de engenharia, recursos infindáveis e variados de materiais educativos. A melhoria significativa dos desempenhos da Internet (em termos de largura de banda, de velocidade e de estabilidade) tem contribuído para o alargamento destes meios à área da experimentação – experimentação on-line. Surgem assim os chamados laboratórios remotos e os laboratórios virtuais. Nos laboratórios remotos, o utilizador interage com um sistema real localizado remotamente através de um interface virtual num suporte informático (PC, por exemplo). Numa experiência virtual a interação do utilizador é gerada em computador através de uma aplicação desenvolvida e baseada nos modelos do sistema (Leitão, 2007). Mais recentemente, começam também a estar acessíveis aplicações de realidade aumentada, dispositivos sensoriais e dispositivos de interação 3D que proporcionam ao utilizador um certo grau de imersão com o simulador que está a usar. Assim, nos nossos dias, as possibilidades de atuação ou controlo remoto de sistemas experimentais ou algum processo de interação com réplicas virtuais dos mesmo, potenciam no estudante a ligação entre a teoria e a realidade e, dessa forma, ajudam a combater formas de conhecimento abstrato e frequentemente superficial. Entretanto, os laboratórios virtuais podem permitir liberdade e flexibilidade intrínsecas à sua característica virtual. Um laboratório virtual bem estruturado e concebido, baseado em critérios de rigor e dotado de uma elevada interatividade, pode conduzir mesmo a um estado cognitivo superior

ao que pode ser atingido na própria vivência em laboratório (Restivo, 2007b), onde muitas vezes é adotada uma postura “confirmatória”.

Apesar de a experimentação online não poder ser considerada como “a solução” para o ensino experimental, poderá constituir um meio eficaz oferecendo complementos importantes a esse tipo de ensino ou mesmo novas oportunidades para instituições deficitárias em meios laboratoriais. Se forem encarados como meios de partilha, então contribuem seguramente para a redução de custos, custos esses que muitas vezes são os inibidores da oferta de um ensino experimental (Singaraju, 2006; Uran, Hercog & Jezernik, 2007; Hercog, et al., 2005), e podem ainda contribuir para incentivar a interação estudante-estudante, mesmo entre instituições distintas (Machado et al., 2008; Mota et al., 2008), desenvolvendo a metodologia de “ensino centrado no estudante” e aumentando a autonomia deste ou fortalecendo práticas de ensino/aprendizagem cooperativas.

Alguns recursos existentes na FEUP podem ser encontrados em <http://elabs.fe.up.pt> (figura 3).

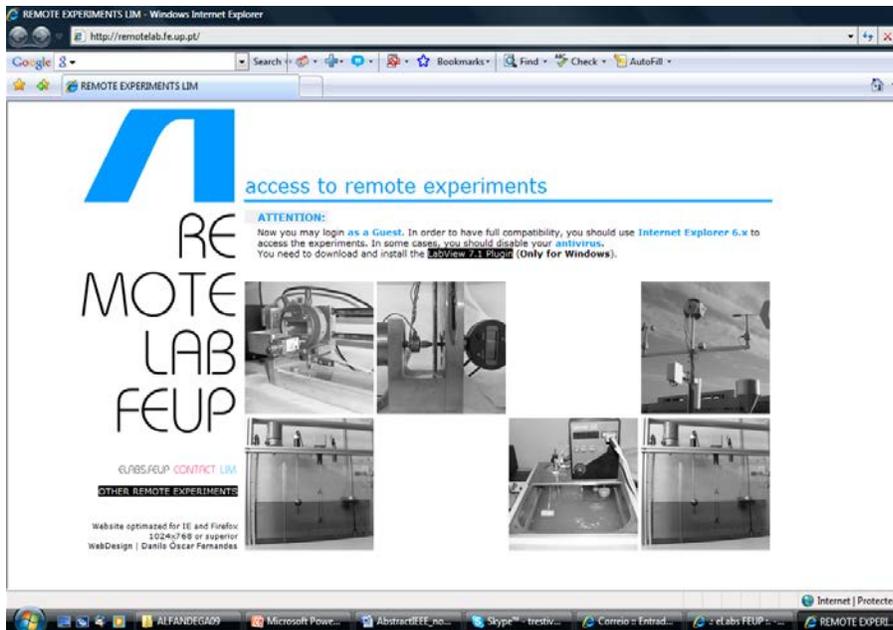


Fig. 3 – Acesso aos recursos de experimentação online da FEUP

Não sendo de capital interesse, neste contexto, a descrição detalhada dos sistemas, referem-se alguns exemplos de experimentação online disponível.

- Procedimento para calibração de temperatura: este sistema familiariza o utilizador com um procedimento para a calibração de um sistema de medição de temperatura.
- Estação meteorológica: este laboratório remoto, do tipo sensitivo, situado no Campus da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, visa contribuir para a caracterização do clima urbano do Porto e realizar estudos vários a nível do comportamento de edifícios. Este foi o primeiro recurso online da FEUP, tendo entrado em funcionamento em 1998.

- Avaliação do desvio de retitude: utilizando um sistema de movimentação linear é possível avaliar o desvio de retitude de uma superfície numa dada direção.
- Medição e controlo de nível: o sistema é constituído por um circuito fechado de dois depósitos de água; são usados vários transdutores/detetores para medição/deteção e para controlo de nível.
- Interferómetro de Michelson: o recurso permite ao utilizador medir deslocamentos com a resolução de meio comprimento de onda da radiação do LASER utilizado, baseando-se no princípio de funcionamento do interferómetro de Michelson. Um interferómetro virtual, que procura ser uma réplica do existente na FEUP, desenvolvido em software livre e descarregável para o computador pessoal do utilizador, é assim disponibilizado e permite uma enorme flexibilidade no manuseamento de variadas funcionalidades.
- Caracterização Mecânica de Materiais: esta experiência online permite o estudo de uma barra ensaiada à flexão. A medição de parâmetros como cargas aplicadas, deformações à superfície da barra, etc., conduzem a determinação de algumas características mecânicas de materiais.

- Puzzle de Circuito DC: é uma aplicação em realidade aumentada que pretende contribuir para facilitar e/ou introduzir a nível do ensino secundário, sob a forma de um jogo interativo, conceitos como os de fonte de energia, bateria, interruptor, recetor de energia, corrente elétrica, resistência elétrica, sentido de circulação da corrente, lei de ohm, potência luminosa, potência dissipada, associação série e paralelo, curto-circuito e circuito aberto, (Restivo et.al., 2014).

- Aplicações de realidade virtual com interação háptica: a figura 4 mostra um conjunto de quatro aplicações desenvolvidas com a finalidade de permitirem a interação do utilizador através de um dispositivo háptico, (Quintas et al., 2014). É objetivo deste conjunto de aplicações:
 - oferecer aplicações de realidade virtual simples que modelem sistemas em que o feedback de força disponibilizado ao utilizador induza um nível de imersão deste com a experiência, complementando assim o caráter virtual desta;

 - divulgar o conceito de dispositivo háptico;

 - incentivar, através de um kit disponibilizado online, a realização de um dispositivo háptico de 1 grau de liberdade, a um custo muito baixo, de modo a que seja acessível a qualquer um e que constitua, também, um aspeto formativo.

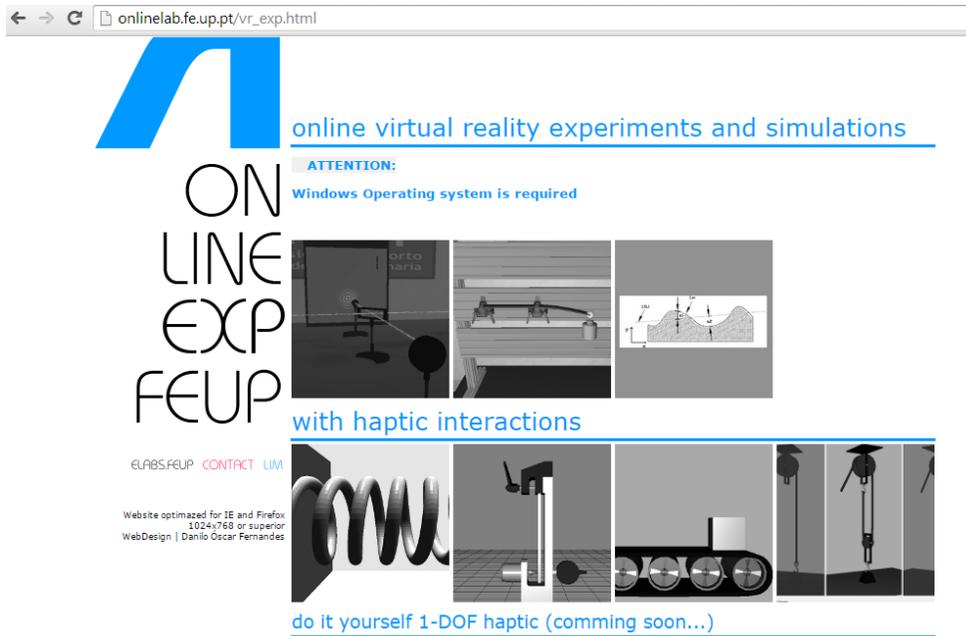


Fig. 4 – Acesso aos recursos de realidade virtual da FEUP

Os objetivos genéricos da experimentação online aqui referidos podem ser resumidos com o conjunto de itens que se enumeram no que concerne ao desenvolvimento das várias competências que importa fomentar no estudante:

- disponibilizar sempre, um procedimento estruturado que conduza à obtenção de resultados a explorar por si e/ou em grupo, fomentando a aprendizagem ativa e cooperativa;
- permitir, em alternativa à interação estruturada (ou automática), sempre que possível, uma exploração pessoal do sistema – atuação manual -, através da observação das respostas deste a estímulos aplicados pelo utilizador;

- fomentar a discussão e a análise de resultados e a sua comparação com resultados reais no âmbito de atividades planeadas para grupos de trabalho;
- permitir aos utilizadores, sempre que introduzido um endereço de e-mail na interface do utilizador (instrumento virtual), os resultados da experiência para posterior análise;
- incentivar a análise de discrepâncias (erros) que possam surgir experimentalmente devido a um procedimento incorreto, através da atuação ou controlo do sistema por via manual face ao automático, nos exemplos em que isso é possível;
- fornecer uma descrição técnica dos sistemas, focando também aspetos de proteção dos equipamentos e de redução de custos durante a utilização (Restivo et al., 2006);
- acentuar o papel essencial da aquisição de dados e seu registo, bem como da tecnologia usada para envio dos mesmos;

- facultar sempre imagem em tempo real, no caso das experiências remotas, para acompanhamento da experiência de modo a tornar a experiência à distância tão realista quanto possível;
- disponibilizar outros elementos, como por exemplo aplicações de realidade virtual ou aumentada, que possam aumentar a flexibilidade dos sistemas reais representando uma réplica realista e suficientemente rigorosa dos mesmos e permitindo, assim, uma exploração mais profunda – como é o caso do interferómetro de Michelson, (Restivo et al., 2007) e da banca de ensaio de estruturas (SoftBeam), (Marques et al., 2007);
- aumentar a autonomia do estudante enquanto competência considerada de relevo no processo de Bolonha (Samoila, et al., 2007);
- ampliar o leque de atividades experimentais, sempre numa perspetiva de blended-learning (integrando com sessões regulares de hands-on presenciais em laboratório), permitindo o acesso livre a qualquer hora do dia e em qualquer dia da semana;

- incrementar a oferta de meios experimentais de aprendizagem (Jinks, 1994), sem aumentar a taxa docente/estudante, respeitando particularmente as tendências das políticas educativas da última década.
- contribuir, no contexto do ensino de massas, para uma melhor adequação à diversidade de perfis psicológicos e de modalidades de aprendizagem, de acordo com os progressos das teorias da educação e da programação neuro-linguística (Ndahi, H. B., 2007).
- familiarizar o estudante com tecnologias emergentes envolvidas e que têm vindo a ganhar significado no ensino/aprendizagem e, que amanhã encontrará na vida real, numa era em que o avanço tecnológico é imparável;
- concorrer para aumentar o gosto pela experimentação, colocando-a mais acessível a todos.

Importa ainda registar seis outras perspetivas para as quais estes recursos podem vir a concorrer. Assim:

- se for tida em conta a possibilidade de partilha entre instituições e o facto de os materiais estarem disponíveis de um modo autónomo a qualquer hora do dia e em qualquer dia da semana, deve esperar-se

da comunidade docente a busca criteriosa no sentido de conduzir a desenvolvimentos complementares;

- um trabalho integrado deve levar à criação de uma base de dados de todas as experiências de livre acesso, como tem sido feito com a criação da plataforma lab2go, e da sua versão portuguesa pt.lab2go (<http://pt.lab2go.net/lab2go/>);
- só deste modo, o verdadeiro significado da experimentação online será atingido, e esta poderá ajudar a atenuar recursos laboratoriais mais deficitários, contribuindo também para a redução de custos (Jurčević et al., 2006; Tzafestas et al., 2005; Fernandez et al., 2007; Lo Bello et al., 2007).
- nesta perspetiva, os programas curriculares podem também vir a apresentar uma flexibilidade muito grande em termos de organização de conteúdos experimentais, constituindo estes, já por si, itens de critérios de acreditação na formação de engenheiros (Murray, S., et al., 2007);

- serão ainda fatores importantes a melhoria da oferta para os estudantes-trabalhadores, bem como para as ações de formação ao longo da vida (Ndahi, 2007), ou na perspectiva de apoio a países menos desenvolvidos;
- finalmente, muito pode ainda ser feito para tornar estes complementos adaptáveis a utilizadores portadores de deficiências. Para além do aumento do grau de realismo que se pode vir a proporcionar à experimentação online com a utilização de dispositivos sensoriais (do que os hápticos são um exemplo), estes podem ainda trazer possibilidades importantes a explorar para utilizadores portadores de deficiências (Machado 2007).

De um modo mais focado nos estudantes poderá ainda resumir-se a relevância da experimentação online como oferecendo:

- uma grande variedade de recursos;
- os dois lados da moeda (hands-on versus outras ferramentas)
- a possibilidade de mobilizar os estudantes de um modo mais entusiasmado e envolvido;
- variedade na formação dos futuros engenheiros, dado que mais cedo ou mais tarde estes encontrarão estas realidades nos seus mundos profissionais.

A partilha séria de experiências exigirá que seja feito um trabalho de fundo para constituir uma base de dados onde qualquer um, em cada momento, possa fazer uma busca sistemática das ofertas existentes e posterior seleção das experiências de interesse para satisfazer requisitos específicos da atividade de ensino/aprendizagem. Só assim pode existir partilha e pode ser verdadeiramente equacionado o fator custo.

O desenvolvimento de experiências baseadas em assuntos facilmente perceptíveis pelo público em geral, tendo também o cuidado de com estas estimular a criatividade de soluções experimentais, pode constituir igualmente um veículo importante para a disseminação do conhecimento e a sua constatação experimental. Assim, acessos do tipo dos subjacentes a veículos remotamente comandados, ROV, por exemplo, deixaram de estar apenas à disposição de uma minoria de cientistas. Hoje, qualquer um pode experimentar a utilização de recursos de acessos remotos e, para isso, passou a ser suficiente que o utilizador esteja familiarizado com um computador e tenha acesso à Internet de banda larga. Nesta perspetiva tornou-se possível disponibilizar, em qualquer lugar e a qualquer hora, uma experiência. Finalmente ajudarão também a mostrar que facilidades deste tipo são já encontradas em contextos de investigação e podem ser facilitadoras da partilha das mesmas, numa perspetiva generalizada.

Contudo, a experimentação online, e nomeadamente a experimentação remota, são frequentemente alvo de comentários negativos, de que são exemplo:

- só podem ser usadas por um só utilizador de cada vez – mas tal também acontece nos trabalhos presenciais!;
- não existe uma verdadeira atividade prática, isto é, não existe “mãos na massa” – mas isso caberá a uma verdadeira estruturação de um processo de “blended learning”!;
- não é tecnicamente fácil proporcionar o trabalho em grupo – mas o mesmo também acaba por acontecer com um grupo de 3 a 4 elementos no laboratório, em que um realiza e os outros tendem a observar apenas, na melhor das hipóteses.

Não será demais referir de novo que, à luz das recomendações de Bolonha, a utilização de experimentação online vem até pôr a ênfase na autonomia do estudante e pode contribuir para a redução apontada de “horas de contacto”, sem prejuízo profundo da componente experimental, podendo até aumentá-la.

O valor pedagógico da experimentação online tem sido muito discutido e argumentado. Talvez seja interessante referir que existem já algumas manifestações de estudantes expressas sob diferentes formas. Um

testemunho do seu impacto pedagógico está registado num trabalho publicado por um grupo de estudantes (Mota, et al., 2008).

Esta recente facilidade de acesso a meios de ensino/aprendizagem deve ser simplesmente olhada tal como o foram, por exemplo, os sinais de fumo, o papiro, a imprensa, a lousa, o correio, o fax ou a televisão, entre muitas outras novas possibilidades, através dos tempos. Todas elas foram simplesmente ferramentas que, para a época em que apareceram, deram um contributo extraordinário para o desenvolvimento notável.

Neste contexto, talvez seja curioso recordar Anna Ticknor, fundadora, em 1873, da Society to Encourage Studies at Home, em Boston. Ticknor desenvolveu então um projeto para ajudar as mulheres a seguirem cursos superiores em suas próprias casas dado que nessa época ainda muitos Campus Universitários lhes recusavam a presença. Assim, muitas mulheres estudaram e obtiveram uma formação superior a partir dos seus lares.

Será interessante ainda registar que os primeiros relatos sobre experimentação online no ensino datam dos anos 90. Mas é especialmente a partir de 2002, que o seu aparecimento é mais notório. Este aspeto está relacionado com um conjunto de recursos de software que passam a estar generalizadamente disponíveis por esta altura. Está também relacionado com o facto de, até há uns anos atrás, não ser possível transmitir via

Internet, vídeo e outros dados com grande volume de informação sem que houvesse elevados custos associados. Hoje, de posse de meios tecnológicos mais compatíveis, existe contudo um esforço considerável a desenvolver nesta perspetiva. E está relacionado com a necessidade de uma melhoria no software e hardware com universalidade na compatibilidade e estabilidade.

De tudo o que aqui foi dito, esta ferramenta para utilização do ensino/aprendizagem é relevante, mas carece ainda de grande investimento de todos quantos nela se têm envolvido. Ou seja, de pedagogos e de especialistas de software, de redes de comunicação e de automação e de controlo de sistemas.

Referências

FERNÁNDEZ, J.,M., R. & R. Wirz (2007), *"Online Competitions: An Open Space to Improve the Learning Process"*, Trans. on Industrial Electronics, vol. 54, Dec., pp. 3086-3093

HERCOG, D., Gergic, B. & V. Matko (2005), *"Remote Lab for Electric Drives"*, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, junho, pp. 1685-1690

JINKS, R. (1994), *"Developing experimental skills in engineering undergraduates"*, Engineering Science and Education Journal, Dec. pp 287-290

JURČEVIĆ , M., Malarić, R. & A. Šala (2006), *"Web based platform for distance training On Electrical Measurements course"*, Measurement Science Review, volume 6, Section 1, No. 4

KURI, N. P., Silva, A. N. R.& M. A. Pereira (2006), *"Estilos de aprendizagem e recursos da hipermídia aplicados no ensino de planejamento de transportes"*, Port. de Educação, vol.19, no.2, pp.111-137, : http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-91872006000200006&lng=pt&nrm=isso (acedido pela última vez a 14 março 2009)

LEITÃO, S., Restivo, T. & E. Carrapatoso (2007), *"Remotely Accessed Experimental Systems"*, Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2007, Portugal

LO BELLO, L., Mirabella, O. & A. Rauceo, A. (2007), *"Design and Implementation of an Educational Testbed for Experiencing with Industrial Communication Networks"*, Trans. on Industrial Electronics, vol. 54, Dec. pp. 3122-3133

MACHADO, L. S. et al. (2007), *"Improving Interaction in Remote Laboratories Using Haptic Devices"*, Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2007, Portugal

MACHADO L. S. et al. (2008), *"A Remote Access Haptic Experiment For Mechanical Material Characterization"*, Proceedings of 8th Portuguese Conference on Automatic Control, 21–23 julho, UTAD, Vila Real, Portugal

- RESTIVO, Maria Teresa (2014). *A importância da experimentação no ensino das ciências e das engenharias....* Novas tecnologias e educação... Porto: Biblioteca Digital da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Pp. 128-152
- MARQUES, J.C. et al. (2007), *"A virtual reality tool for structural mechanics"*, Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2007, Portugal
- MOTA, A. et al. (2008), *"Remote Experiences"*, Virtual University, 10-12 December, Bratislava, Slovakia
- MURRAY, S. et al. (2007), *"Workshop on Remote Laboratories: Sharing Expertise, Sharing Resources"*, AAEE 2007 Conference, Melbourne, 9-12 December
- NDAHI, H. B. et al. (2007), *"Engineering Education: Web-Based Interactive Learning Resources"*, Technology Teacher, vol. 67 no. 3, Nov., pp. 9-14
- QUINTAS, M. R., Restivo, M. T., Rodrigues, J., Santos, B., (2014b), *"Feeling force"*, 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, 26-28 February, Porto, Portugal, 2014, IEEE Xplore, DOI: 10.1109/REV.2014.6784181
- SAMOILA, C., Cosh, S. G. & D. Ursutiu (2007), *"Competences, Remote Labs and Bologna Process"*, Advances on remote Laboratories and E-learning Experiences, University of Dueno, pp. 63-96
- SINGARAJU, T., Turan, A., Gokasan, M. & B. Bogosyan (2006), *"Hardware-in-the-loop simulation of PUMA 560 via internet"*, IECON 2006 – the 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, novembro, pp. 5426-5432
- RESTIVO, M.T. et al. (2004), *"On The Way For A Better Methodology In Teaching/Learning Instrumentation for Measurements at Mechanical Engineering Compulsory Syllabus"*, Proceedings of the World Congress on Engineering and Technology Education, WCETE'2004, Brasil, março, pp. 92-96

RESTIVO, Maria Teresa (2014). *A importância da experimentação no ensino das ciências e das engenharias...* Novas tecnologias e educação... Porto: Biblioteca Digital da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Pp. 128-152

----- (2006), *"E-Teaching Mechanical Material Characteristics"*, CD-Rom Proceedings M2D'2006, 5th International Conference on Mechanics and Materials in Design, Portugal

----- (2007a) *"The Michelson Interferometer: a learning object"*, Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2007, Portugal

----- (2007b), *"AF3.1: Labs-on-the-Web"*, <http://edulivre.fe.up.pt/course/view.php?id=52> (acedido pela última vez a 14 março 2009)

RESTIVO, T., Chouzal, F., Rodrigues, J., Menezes P. and Lopes, J. B., (2014a), *Augmented Reality to Improve STEM Motivation*, Special Track ITEP'14, EDUCON 2014, April 3-5, Istanbul, Turkey, 2014, IEEE Xplore, DOI: 10.1109/EDUCON.2014.6826187.

STICE, J.E (1987), *"Using Kolb's Learning Cycle To Improve Student Learning"*, Engineering Education, 77: 29 1-296, <http://www2.glos.ac.uk/GDN/discuss/kolb1.htm> (acedido pela última vez a 25 de Abril de 2009)

THE TICKNOR SOCIETY.; URL, <http://www.ticknor.org/Anna.shtml> (acedido pela última vez a 25 de Abril 2009)

TZAFESTAS, C. S., Palaiologou, N. & M. Alifragis (2005), *"Experimental Evaluation and Pilot Assessment Study of a Virtual and Remote Laboratory on Robotic Manipulation"*, ISIE 2005 – IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June, pp. 1677-1683

URAN, S. et al. (2006), *"MATLAB Web Server and Web-based Control Design Learning"*, IECON 2006 – the 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Nov., pp. 5420-5425.