

# UM LABORATÓRIO REMOTO, MÚLTIPLAS POTENCIALIDADES

Nuno Sousa [1], Manuel G. Gericota [2], Gustavo R. Alves [2]

[1] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – nsousa@fe.up.pt

[2] Instituto Superior de Engenharia do Porto, CIETI/LABORIS – {mgg, gca}@isep.ipp.pt

## Resumo

**O ensino à distância padeceu, durante longos anos, de várias limitações ao nível da interação entre alunos, professores e material didáctico. Essas limitações foram sendo ultrapassadas com recurso aos novos meios de comunicação, de que a *internet* é, neste caso concreto, exemplo máximo.**

**No entanto, uma das limitações que se tem mostrado mais difícil de superar é a do acesso remoto dos alunos a laboratórios reais. As várias propostas apresentadas até ao momento implicam normalmente um conjunto de recursos próprios e pouco flexíveis para cada trabalho, com um elevado tempo de aprendizagem para a sua implementação.**

**O laboratório remoto apresentado neste artigo tem por base uma plataforma flexível que permite a realização de múltiplos trabalhos sem necessidade de alterações da sua estrutura de base. A sua utilização é bastante simples, não implicando longos ciclos de configuração. A interface com o utilizador é genérica, não necessitando de ser configurada, qualquer que seja a montagem efectuada.**

*Palavras-chave: Laboratório remoto, Ensino, Electrónica, E-learning.*

## 1. INTRODUÇÃO

O ensino à distância teve origem ainda no século XIX quando as primeiras Universidades começaram a oferecer cursos por correspondência. Então, a interactividade entre estudante e professor era, obviamente, bastante restrita, o que tinha consequências também no número e tipo de cursos que podiam ser oferecidos. Durante a segunda metade do século XX, novas experiências de ensino à distância usando meios complementares como as emissões televisivas ou o material vídeo gravado, permitiram melhorar substancialmente o nível de aprendizagem. No entanto, a grande revolução no ensino educativo à distância dar-se-ia apenas nos anos 90 com a introdução do conceito de e-learning. Suportado num novo veículo de comunicação, a internet, possibilita pela primeira vez a obtenção de um elevado grau de interactividade entre aluno e professor, aproximando-se da situação real da sala de aula. Apesar disso, o número de opções de curso continuou restrito a matérias que não requeriam o uso de laboratórios. Nesse sentido, a grande maioria dos cursos de Ciência e Tecnologia, com excepção óbvia para a Informática, continuavam não disponíveis por esta via.

Esta realidade tem vindo a mudar com a difusão do uso de laboratórios remotos. O aumento verificado na largura de banda da transmissão de dados sobre a internet permitiu desenvolver e tornar acessíveis remotamente laboratórios reais, com os quais é possível interagir fisicamente. A especificidade da interface de acesso a esses laboratórios e a implementação da necessária interactividade levou a que o seu desenvolvimento se centrasse em torno de montagens específicas e sem flexibilidade ou em sistemas concebidos de raiz.

Estes implicavam novas abordagens na concepção e montagem dos trabalhos, afastando-os das situações reais de laboratório e implicando elevados custos de projecto e longos períodos de desenvolvimento. Esta situação tende a afastar potenciais interessados, limitando as possibilidades de expansão da oferta de cursos através das plataformas de e-learning já existentes.

O trabalho apresentado neste artigo procura contornar estas limitações ao propor para o ensino da electrónica o uso de uma plataforma e de uma interface genérica em que a base de montagem dos circuitos é igual à usada nos laboratórios de electrónica, simplificando o seu uso e reduzindo o tempo de aprendizagem.

Na próxima secção dá-se conta de alguns dos laboratórios existentes destinados ao ensino da electrónica e documentados na literatura. Em face das limitações identificadas, listam-se os requisitos que estiveram na base do desenvolvimento deste trabalho, descrevendo-se de seguida a sua implementação. Por último, expõe-se um caso de estudo que exemplifica as potencialidades do laboratório desenvolvido e apresentam-se algumas conclusões.

## 2. LABORATÓRIOS REMOTOS PARA O ENSINO DA ELECTRÓNICA

Centrando a pesquisa bibliográfica no conjunto dos laboratórios remotos para o ensino da electrónica que permitem a configuração, pelo utilizador, do circuito sob experimentação, encontram-se vários exemplos, dos quais a seguinte lista constitui uma amostra com carácter geográfico mundial: América do Norte (Asumadu et al., 2005), Austrália (Nedic et al., 2005), e Europa (Bagnasco et al., 2007; Gustavsson et al., 2005). Cada um destes exemplos apresenta características diferenciadoras que importa analisar, por forma a construir uma lista de requisitos da solução a implementar, tendo em atenção as questões analisadas.

A arquitectura denominada “*Remote Wiring and Measurement Laboratory*”, descrita em (Asumadu et al., 2005), inclui uma matriz de comutação de 8 x 8 baseada em relais de estado sólido e controlada através de um micro-servidor Web (AWC86A), que simultaneamente executa o código Java responsável por ler a montagem feita pelo utilizador numa *breadboard* virtual e convertê-la num conjunto de sinais que actuam directamente sobre os relais existentes. O utilizador pode efectuar quaisquer tipo de ligações na placa de montagem (*breadboard*) virtual, utilizando um conjunto de linhas coloridas e símbolos gráficos dos componentes e instrumentos de medição fisicamente ligados às linhas e colunas da matriz de comutação. Uma aplicação residente no servidor do laboratório verifica se o circuito não apresenta riscos eléctricos (do ponto de vista dos componentes e equipamentos, e.g. fonte de alimentação curto-circuitada). As desvantagens principais desta solução são: (1) o impacto no circuito da resistência e capacidade não ideais dos relais de estado sólido; (2) o número de combinações possíveis, limitada pela dimensão da matriz de comutação, que tem um crescimento exponencial em função do número de componentes e/ou equipamentos; (3) a redundância no processo de experimentação, onde assumindo que o circuito foi já montado pelos alunos no laboratório real, estes são obrigados a refazer as ligações, no ambiente virtual, antes de se poderem concentrar nas tarefas complementares do tipo “e se ...”, e.g. mudar uma dada resistência e medir as intensidades de corrente nos ramos *x*, *y*, e *z*, do circuito-alvo.

O Circuit Builder do NetLab (Nedic et al., 2005) baseia-se na combinação de uma placa de montagem virtual com uma matriz, de 16 x 16 relais do tipo electromecânico com retenção de estado, que corresponde a um módulo VXI da Agilent (E1465A). Este módulo requer uma estrutura de suporte (E8408A) e um módulo de comando (E1406A), que interliga ao servidor do laboratório através de uma ligação GPIB (*General Purpose Interface Bus*). Ligando um conjunto próprio de equipamentos e componentes às entradas/saídas de cada camada, através de relais electromecânicos com duas entradas e uma saída normalmente aberta e outra normalmente fechada por entrada (*Double Pole Double Throw*, DPDT), implementam-se duas experiências remotas em simultâneo. Contudo, para além da desvantagem (3) já referida,

acresce o custo elevado motivado pelos módulos VXI e pela ligação GPIB. A utilização de relais electromecânicos elimina porém a desvantagem (1).

A solução descrita em (Bagnasco et al., 2007) assenta num sistema modular composto por uma placa-mãe com 16 conectores, onde se podem inserir outras tantas cartas com circuitos-alvo. Um conjunto de linhas seleccionáveis permite ligar um sinal de entrada (e.g. de um gerador de funções) a qualquer uma das cartas e observar sinais de saída de vários pontos, também, de qualquer uma das cartas. A selecção dos pontos sob observação é efectuada no painel que contém representações gráficas do circuito-alvo, do gerador de funções e do osciloscópio, existindo uma aplicação que interpreta as mudanças gráficas e actua sobre as linhas seleccionáveis por forma a implementar o novo esquema de ligação da(s) ponta(s) de prova do osciloscópio. A par do número de experiências suportadas, esta solução dispensa a necessidade de uma aplicação de interpretação do esquema montado pelo utilizador (não existe uma placa de montagem virtual, mas sim e apenas uma selecção dos pontos sob observação), não tendo por isso a desvantagem (3) associada. A desvantagem principal reside no desenvolvimento de uma carta de circuito impresso para cada circuito sob experimentação.

Finalmente, o sistema descrito em (Gustavsson et al., 2005) possui um conjunto de cartas empilháveis, com conectores para ligação de componentes e pontas de prova, que permite implementar um qualquer circuito com até 16 nós, montado numa placa de montagem virtual. Uma aplicação converte a descrição gráfica numa descrição textual tipo lista de ligações (*netlist*), semelhante ao PSpice, que é depois lida por uma outra aplicação que verifica se o circuito é seguro, i.e. se não existem ligações potencialmente perigosas do ponto de vista eléctrico. As ligações físicas são efectuadas através de relais electromecânicos do tipo DPST (Single Throw, ST), que por sua vez são controlados através de um conjunto de saídas digitais de uma placa NI PXI-6508. O laboratório remoto inclui uma fonte de alimentação controlável da Agilent (E3631A) e um sistema PXI da National Instruments (NI) formado por um chassis PXI-1000B que inclui um controlador principal (NI PXI-8176), um multímetro digital (NI PXI-4060), um gerador de funções (NI PXI-5401), e um osciloscópio (NI PXI-5112), para além da carta com E/S digitais. Em termos de desvantagens, refira-se a (3) e a necessidade de se utilizarem pequenas pontas de fio (ligadas entre dois pinos das cartas da matriz) para ligar nós não ligados via componentes discretos, ou para restabelecer uma dada ligação directa entre dois nós. A utilização de relais do tipo DPDT permitiria ultrapassar este problema, especialmente evidente na situação em que se pretende medir a intensidade de corrente eléctrica (via amperímetro) num dado ramo, i.e. na situação em que se tem que optar por uma ligação directa ou uma ligação via amperímetro.

### 3. REQUISITOS E SOLUÇÕES

O principal objectivo que presidiu ao desenvolvimento deste trabalho foi o de construir um laboratório que, embora destinado a uma utilização remota, reproduzisse o mais possível a realidade de um laboratório presencial, de modo a que a montagem dos circuitos que habitualmente aí são propostos aos alunos dispensasse a utilização de outros recursos que não os normalmente usados no laboratório, facilitasse a aprendizagem da sua manipulação por parte do docente, evitasse longos períodos de configuração ou obrigasse à existência e intervenção dum técnico especialmente formado para a sua operação. A plataforma a desenvolver deveria, por isso, ser suficientemente flexível para que sobre ela se pudessem montar todos os circuitos habitualmente propostos nas cadeiras de electrónica analógica dos cursos de graduação em electrotecnia, baseados em componentes discretos ou integrados e montados em placas do tipo *bread-board*. Desta forma, estaria garantida a maior proximidade possível com a realidade do laboratório, permitindo uma reprodução aproximada das mesmas condições de funcionamento. Uma vez que os componentes a usar seriam exactamente os mesmos que aqueles usados nas aulas presenciais e o circuito seria montado no mesmo tipo

de placas, a disponibilização remota imediata de qualquer circuito que seja montado nas aulas presenciais ficaria garantida.

A reprodução remota do circuito implica também a possibilidade de realizar medições em vários dos seus nós e ramos e de fazer alterações quer dos valores dos componentes, quer mesmo da própria configuração do circuito, só que neste caso dispensando a usual intervenção humana. A solução para este problema implicou o desenvolvimento de módulos de comutação que permitem a realização de medições em vários pontos do circuito, a troca de componentes e mesmo a própria alteração da configuração do circuito. Esses módulos foram desenvolvidos de raiz e pensados para proporcionar uma solução flexível e adaptável às várias situações descritas. Os alunos ficam assim com a possibilidade de continuar fora do horário de aulas a parte do trabalho que não tiveram tempo de efectuar durante a aula presencial, complementando as medições e, dependendo dos trabalhos, modificar a configuração do circuito e verificar quais as alterações introduzidas, comparando resultados e aprofundando o estudo do seu funcionamento. Acrescente-se ainda que, nos casos em que por qualquer motivo o aluno não pôde estar presente na aula, terá a oportunidade de realizar a quase totalidade do trabalho remotamente, exceptuando-se apenas a sua montagem.

Aos requisitos já vistos para o circuito e para a sua manipulação, acrescentam-se os necessários para a sua disponibilização remota, como sejam o controlo dos instrumentos de medição, dos módulos de comutação, do gerador de funções e das fontes de tensão variáveis, e a interface de acesso e os mecanismos necessários ao controlo desse acesso.

Identificados todos os requisitos, a opção recaiu sobre a estação NI-Elvis (NI ELVIS, 2008) da National Instruments. A escolha justifica-se pela disponibilidade e concentração de recursos e pela uniformidade de acesso proporcionada. A plataforma dispõe de toda a instrumentação necessária para que se efectuem as medições eléctricas requeridas por cada uma das montagens – osciloscópio e multímetro – , fontes de alimentação e gerador de funções, com interface de controlo e visualização comum configurável através do pacote de software LabView (LabVIEW, 2008). Acresce igualmente um barramento de dados digital o qual permite controlar o estado dos módulos de comutação.

A utilização de instrumentação virtual e do software LabVIEW oferece uma vantagem fundamental: a possibilidade de oferecer remotamente, num monitor de computador, a mesma interface que temos localmente, uniformizando desta forma a interface com os instrumentos usados. Acresce que a interface, ao ser configurável, permite a integração de outras necessidades de controlo, como sejam as exigidas para o controlo remoto dos módulos de comutação.

Outra das vantagens desta abordagem é a sua fácil integração com plataformas de e-learning já existentes, como o Moodle (Moodle, 2008). Desta forma, é possível juntar as potencialidades de gestão de acesso, apresentação da informação, registo de resultados e avaliação, às oferecidas pela possibilidade de realização remota de um trabalho de laboratório usando os mesmos recursos que existem num laboratório presencial.

#### **4. UMA BASE – MÚLTIPLAS POSSIBILIDADES**

Uma das primeiras etapas do trabalho consistiu no desenvolvimento dos módulos de comutação. Estes módulos são essenciais para permitir a realização remota e sem intervenção humana de todos os passos que usualmente o aluno produz no laboratório durante a realização de um trabalho: medição de tensões e correntes em vários pontos do circuito e troca de componentes por outros de valor diferente ou alterações à configuração da montagem por inserção de novos componentes. A funcionalidade destes módulos deveria permitir o uso de um único instrumento para realizar medições em vários pontos do circuito, uma vez que a estação NI-Elvis dispõe apenas de um multímetro. A mesma estrutura deveria igualmente permitir a troca de componentes, ao tornar possível a selecção de diferentes ramos a interligar no circuito. Embora a opção mais lógica pareça ser o uso de um multiplexador, esta solução

apresentava algumas limitações, como no caso da medição de tensões diferenciais e no da medição de corrente em vários ramos.

A par desses problemas, existiam outros relacionados com as características dos próprios multiplexadores a usar. Várias soluções foram ponderadas para a sua implementação, tendo em conta dois requisitos fundamentais: a solução não poderia limitar o valor das tensões e correntes nos ramos do circuito em relação aos normalmente existentes nas montagens de laboratório; e não poderiam ser introduzidas não idealidades que alterassem o seu normal funcionamento. Estas limitações impediam a utilização de multiplexadores integrados, dadas as suas características intrínsecas. A solução encontrada foi a de construir módulos de comutação com funcionalidade idêntica à dos multiplexadores, mas tendo por base a utilização de relais electromecânicos. Dadas as suas características eléctricas, estes relais são aqueles cuja inclusão no circuito menos perturbações causam ao seu normal funcionamento – as capacidades parasitas rondam os 2 pF e a resistência em condução os 70 mΩ, no máximo, para os relais usados.

A utilização de relais permitiu igualmente expandir o leque de possibilidades na implementação dos módulos de comutação, solucionando os problemas da medição de corrente e da medição diferencial de tensão, os quais, de outra forma, obrigariam à existência e actuação simultânea de dois multiplexadores. Essa solução baseia-se na utilização de relais do tipo DPDT.

Os módulos de comutação foram construídos com duas configurações distintas: módulos de 1-para-8; e módulos de 2 x 1-para-4. A figura 1 ilustra a utilização dos relais DPDT na medição de tensões diferenciais e na visualização de formas de onda de tensão em vários pontos do circuito e de correntes em diferentes ramos. Os módulos de 1-para-8 possibilitam a medição de até oito tensões diferenciais independentes e da corrente em oito ramos distintos do circuito. Uma vez que as alterações de componentes ou de configuração são normalmente mais limitadas, a utilização de módulos de 1-para-4 será, na maioria dos casos, suficiente. Um dos módulos de comutação de 1-para-8 efectua automática e sequencialmente as medições da tensão nos oito pontos e afixa-os na interface genérica representada na figura 3. O mesmo acontece no caso da medição das correntes. Embora na implementação efectuada se tenham limitado os pontos de observação a oito para a tensão e igual número para a corrente, por serem suficientes para as montagens normalmente efectuadas, é possível juntar mais módulos e multiplicar pelo seu número o número de pontos de observação. Para o osciloscópio foi usado um módulo de comutação 2 x 1-para-4, sendo que cada conjunto foi ligado a um dos dois canais do osciloscópio disponibilizado na estação NI-Elvis. Na figura 2-a) encontra-se ilustrado um módulo de comutação de 1-para-8.

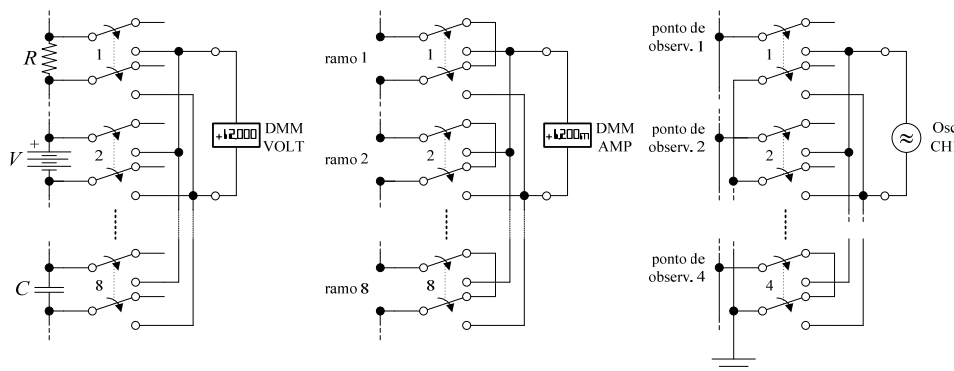
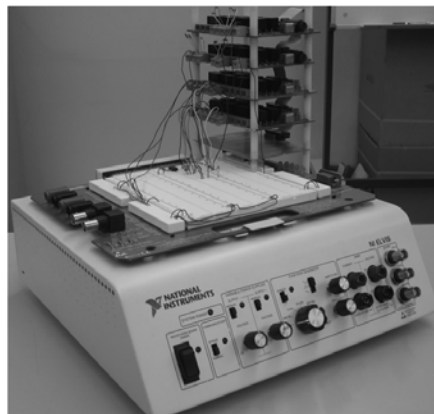
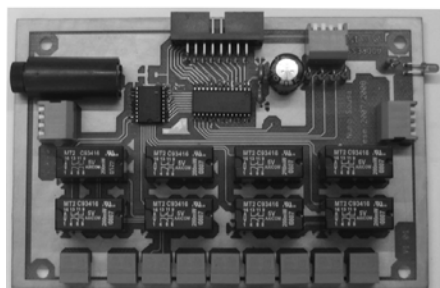


Figura 1 – Exemplos de interligação de instrumentação de medição

A interface entre a estação NI-Elvis e os módulos de comutação é directa, através do barramento de dados digital. Este barramento permite o endereçamento de até doze módulos de comutação. Cada placa possui um selector para configuração do seu endereço, o qual deve ser único, a não ser que se pretenda que duas placas mimetizem simultaneamente o mesmo

comportamento. Um *flat-cable* assegura a ligação entre todas as placas, as quais se encaixam verticalmente sobre uma base que se apoia directamente na estação NI-Elvis, como se pode ver na figura 2–b), onde se ilustra o aspecto final de conjunto da plataforma completa, no caso com quatro placas de comutação – duas de 1-para-8 e duas de 2 x 1-para-4.

O módulo de comutação contém, para além dos relais, um microprocessador responsável pela descodificação de endereço, recepção dos dados de configuração e controlo dos relais.



a) Módulo de comutação de 1-para-8

b) NI-Elvis com os módulos de comutação

Figura 2

O acesso ao laboratório remoto é efectuado a partir da plataforma Moodle. Um novo aplicativo foi desenvolvido para que o docente possa disponibilizar a experiência, ou várias experiências, a partir da página da disciplina. Nesse aplicativo o docente insere o endereço IP do servidor de experiências ao qual a estação NI-Elvis está ligado e o endereço da página onde a experiência está disponível. De notar que um servidor de experiências pode suportar mais do que uma experiência. Os alunos inscritos à disciplina validam-se na plataforma e acedem à página da disciplina, onde uma ligação permite o acesso à experiência. Para cada aluno é gerado um endereço único de acesso, resultado da concatenação do endereço da página onde a experiência está disponível, do identificador de sessão, o qual é gerado cada vez que o navegador é iniciado, e do identificador do aluno no Moodle. Desta forma, garante-se a segurança no acesso à plataforma.

Após a validação, é disponibilizado ao aluno a interface genérica representada na figura 3, através da qual o aluno pode interagir com a experiência, alterando o valor dos componentes ou a própria configuração (dentro das possibilidades oferecidas para cada circuito) e controlar o osciloscópio e o gerador de sinais. Após ter efectuado a configuração da montagem na interface, o aluno submete ao servidor da experiência essa configuração, a qual é então colocada numa fila de espera. A plataforma informa o aluno do tempo de espera estimado até iniciar a experiência que foi submetida. Quando a plataforma estiver disponível, o servidor transmite-lhe a informação de configuração, procede às leituras e envia os resultados de volta, libertando a plataforma para o aluno seguinte na fila de espera. Esta sequência demora aproximadamente 40 segundos, o que significa que a cada dez minutos são possíveis de serem executadas um total de 15 experiências por, no máximo, 15 alunos diferentes. Tal traduz-se numa elevada taxa de disponibilidade quando comparado com os laboratórios remotos que exigem a reserva antecipada de intervalos temporais individuais, ficando o laboratório adstrito a um único aluno por períodos que variam entre 30 e 60 minutos.

Sempre que um aluno estabelece uma ligação à experiência é gerado um conjunto de ficheiros único, entre os quais o ficheiro que permite o controlo e a visualização da instrumentação e dos módulos de comutação disponibilizados na plataforma. No caso de o aluno não interagir com a experiência durante um determinado período de tempo definido pelo docente, exceptuando o tempo de espera no caso da plataforma estar ocupada, o acesso à experiência é cancelado. Isto é essencial para evitar que o conjunto de ficheiros que lhe estava

adstrito permaneça activo no servidor indefinidamente, nos casos em que o aluno encerre a aplicação de forma incorrecta ou simplesmente perca a ligação.

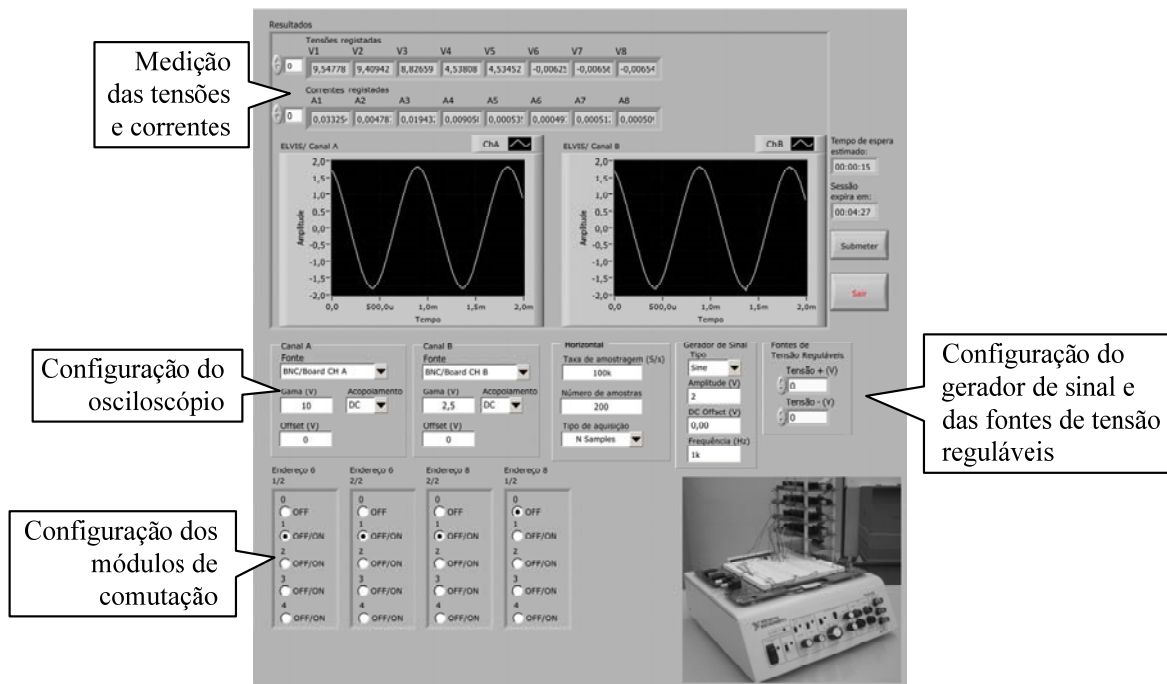


Figura 3 – Interface genérica

## 5. CASO DE ESTUDO

Para validar as opções tomadas foi seleccionada uma das várias experiências propostas aos alunos para o estudo das aplicações do amplificador operacional no contexto da disciplina de Electrónica II da Licenciatura em Eng. Electrotécnica e Computadores. Trata-se de um regulador de tensão com limitador de corrente, cujo esquema se encontra representado na figura 4. No esquema estão assinaladas as várias hipóteses de configuração do circuito, correspondentes às alterações que são introduzidas ao longo do trabalho. Junto de cada um dos pontos de configuração está indicado o endereço da placa e os números dos relays que seleccionam uma ou outra das hipóteses, em correspondência com o que se apresenta na interface gráfica mostrada na figura 3. Distribuídos pelo circuito encontram-se ainda vários pontos de observação de tensão com referência à massa e diferenciais, e vários ramos com observação de corrente. As medições de corrente, tensão e a amostragem do sinal para o osciloscópio são realizadas automaticamente pela aplicação que controla a plataforma e não necessitam de qualquer configuração, com excepção para o caso do osciloscópio, cujos pontos de leitura podem igualmente, se necessário, ser configurados através de um módulo de comutação.

O circuito inicial funciona com uma tensão de alimentação de 15 V (End. 6 1/2 – 1) e sem limitação de corrente (End. 6 2/2 – 1), com duas cargas diferentes (End. 8 2/2 – 1 ou 2) e duas tensões de saída diferentes, obtidas por variação do valor da resistência  $R_S$  (End. 8 1/2 – 1 ou 2). Posteriormente a tensão de alimentação é alterada para 12 V (End. 6 1/2 – 2) e são repetidas as medições anteriores. Por último, insere-se a limitação de corrente (End. 6 2/2 – 2).

Os valores de medição obtidos remotamente para as tensões e correntes nos vários pontos do circuito foram comparados com os valores obtidos directamente numa montagem tradicional do mesmo circuito numa *bread-board* igual à usada na plataforma, concluindo-se que o erro relativo obtido na medição da tensão é, no máximo, de 0,9%, sendo praticamente nulo nas medidas diferenciais, o que indica interferências devidas a ruído, em virtude das ligações entre a montagem e as placas de comutação. Para medições de corrente da ordem dos

mA o valor do erro relativo obtido foi, no máximo, de 9%, valor elevado que, no entanto, se reduz para os 2%, no máximo, quando a ordem sobe para as dezenas de mA. Estes erros relativamente elevados devem-se às características do multímetro disponibilizado na NI-Elvis.

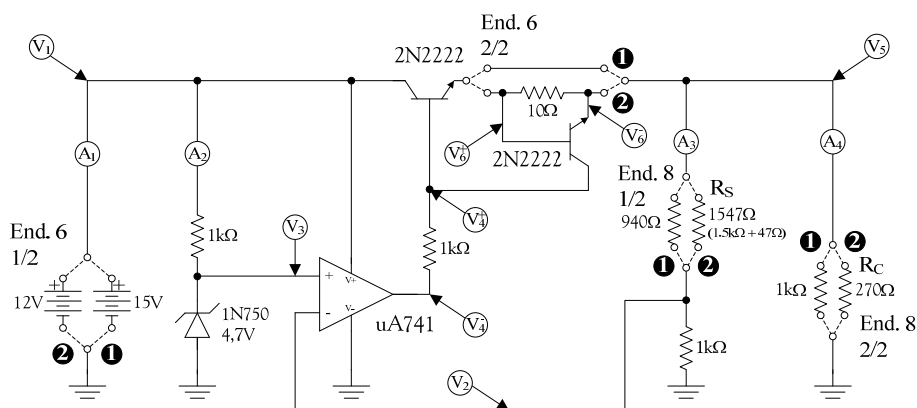


Figura 4 – Implementação de um circuito de regulação de tensão

## 6. CONCLUSÃO

Neste artigo apresentou-se uma plataforma flexível para a montagem de circuitos electrónicos analógicos e sua disponibilização remota, permitindo aos alunos dos cursos de graduação em electrotecnia realizar remotamente as experiências que normalmente são disponibilizadas nos laboratórios presenciais, replicando as suas características e funcionamento. A principal vantagem da plataforma é o facto de as montagens não requererem nenhum tipo de recursos específicos nem exigirem longos tempos de configuração ou a aprendizagem de conhecimentos particulares, sendo facilmente adaptável aos requisitos de qualquer experiência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrea Bagnasco et al., “A Configurable Remote Laboratory for the Flexible Setup of Experiments in Electronics”, in: *Advances on remote laboratories and e-learning experiences*, pp. 271-284, Luís Gomes and Javier García-Zubía (eds.), University of Deusto, 2007, ISBN: 978-84-9830-077-2

I. Gustavsson et al., “A Remote Electronics Laboratory for Physical Experiments using Virtual Breadboards”, *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. [Em linha]. 2008. [Consult. 31 Out. 2008] Disponível em WWW: <URL: ftp://ftp.ni.com/pub/devzone/tut/aremotelectronics.....pdf >

Jonhson A. Asumadu et al., “A Web-Based Electrical and Electronics Remote Wiring and Measurement Laboratory (RwmLAB) Instrument”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, No. 1, pp. 38-44, February 2005.

LabVIEW Development System. [Em linha]. 2008. [Consult. 20 Out. 2008] Disponível em WWW: <URL:http://www.ni.com/labview/>

MOODLE – A Free, Open Source Course Management System for Online Learning. [Em linha]. 2008. [Consult. 20 Out. 2008] Disponível em WWW: <URL:http://moodle.org/>

NI ELVIS: Educational Design and Prototyping Platform. [Em linha]. 2008. [Consult. 20 Out. 2008] Disponível em WWW: <URL:http://www.ni.com/nielvis/>

Z. Nedic et al. “The Circuit Builder for NetLab”, *Proceedings of the 8th Annual Conference on Engineering Education*, Kingston, Jamaica, 7-11 February 2005.