

# DESENVOLVIMENTO DE UM CONJUNTO DE APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA EMULÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE SONORA

Manuel C. Gameiro da Silva<sup>1</sup>, Mário Mateus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ADAI, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra, Portugal  
[manuel.gameiro@dem.uc.pt](mailto:manuel.gameiro@dem.uc.pt); [mario.mateus@adai.pt](mailto:mario.mateus@adai.pt)

## Resumo

Apresenta-se um conjunto de aplicações computacionais desenvolvidas pelos autores na plataforma de programação Labview 7.1, com o objectivo de apoiar a leccionação de conteúdos programáticos em cursos de acústica, permitindo a visualização das evoluções temporais dos sinais sonoros e dos descritores utilizados para a sua caracterização. Estas aplicações permitem demonstrar, num computador pessoal, o funcionamento de três equipamentos de medida (um sonómetro simples, um sonómetro integrador e um sonómetro com análise em frequência por bandas de terço de oitava), utilizando um microfone exterior e a placa de som do próprio computador como sistema de aquisição. Foi também desenvolvida uma outra aplicação que consiste num gerador de sinais sonoros. Esta aplicação utiliza também a placa de som do computador e permite gerar e adicionar sons sinusoidais monotonais com as frequências centrais nas oito oitavas de 63 Hz a 8000 Hz. Este conjunto de programas revela-se um auxiliar precioso na explicação das matérias, uma vez que permite, em tempo real, a audição dos sinais sonoros e a visualização gráfica das suas evoluções temporais, o que contribui para uma mais fácil assimilação dos conceitos pelos alunos.

**Palavras-chave:** Equipamentos Virtuais, Medição e Análise do Som, Electroacústica e Instrumentação

## Abstract

A set of software application tools written in the programming platform Labview to emulate sound measuring and analysis instruments is presented. The applications were developed to support teaching of courses on acoustics. Three different virtual instruments were developed – a Sound Pressure Level Meter, a Noise Equivalent Level Meter and a Third Octave Frequency Analyzer - using the sound card of a portable computer as data acquisition device.

Another application tool, consisting on a sound generator, was also developed. The sound card and of the computer is also used to generate and add sinus sounds with frequencies centered on the octave bands between 63 and 8000 Hz.

This set of applications tools revealed a precious support for the explanation of acoustic matters, because it allows a real-time listening of the sound signals and the visualization of the their time evolutions, which contributes to an easier assimilation of the concepts by the students.

**Keywords:** Virtual Instruments, Sound Measurement and Analysis, Electroacoustics and Instrumentation

## 1 Introdução

Os autores têm desenvolvido actividade pedagógica relacionada com a área de Acústica, quer em disciplinas do plano de estudos de cursos universitários, quer em cursos de formação profissional, tendo sentido a necessidade de desenvolver algumas aplicações computacionais para apoio à leccionação.

As metodologias de ensino de cursos deste género beneficiam claramente se houver a coexistência das diferentes formas de abordagem dos problemas de engenharia e outras ciências experimentais, i. e. a formulação analítica do problema, a experimentação e a simulação numérica.

O principal objectivo é a demonstração dos conceitos de uma forma estimulante e atractiva, fornecendo aos estudantes ferramentas eficientes de aprendizagem, propiciando o estabelecimento de relações entre a teoria e a prática, melhorando dessa forma o seu sentido da realidade física.

As várias ferramentas computacionais permitem demonstrar, num computador pessoal, o funcionamento de três equipamentos de medida (um sonómetro simples, um sonómetro integrador e um sonómetro com análise em frequência por bandas de terço de oitava) e de um gerador de sinais sonoros.

## 2 Equipamentos virtuais

As várias ferramentas computacionais permitem demonstrar, num computador pessoal, o funcionamento de três equipamentos de medida (um sonómetro simples, um sonómetro integrador e um sonómetro com análise em frequência por bandas de terço de oitava) e de um gerador de sinais sonoros. Em termos de hardware não é necessária a utilização de recursos exteriores ao próprio computador, uma vez que, quer para aquisição de sinais, quer para a geração, é utilizada a placa de som. As aplicações computacionais foram escritas na linguagem de programação Labview 7.1, usando algumas das ferramentas do pacote Noise & Vibration Toolkits.. Nestas aplicações com fins didácticos, em que o objectivo principal é a demonstração dos conceitos, os requisitos de precisão podem ser menos exigentes do que em situações de Metrologia legal, pelo que uma placa de som com um conversor analógico-digital de 16 bits é suficiente. Como sensor primário pode ser usado o microfone do próprio computador portátil. No entanto, para conseguir melhores resultados, foi utilizado um microfone Sony DS70P, ligado directamente à placa de som.



Figura 1 – Computador portátil com software de emulação de sonómetro medidor de SPL e microfone.

No projecto das interfaces gráficas dos instrumentos virtuais, procurou-se, tanto quanto possível, reproduzir o mesmo tipo de botões de ajuste e controlo que existem nos equipamentos reais. Já no que diz respeito à apresentação de dados, a preocupação foi que as aplicações computacionais fossem mais elucidativas do que os instrumentos de medida reais, permitindo a apresentação de todas as fases de processamento de sinal, recorrendo-se as diferentes formas de apresentação de dados, desde mostradores digitais, a gráficos com evoluções temporais, passando por indicadores analógicos de ponteiros ou de barras. Os estudantes mostram um elevado grau de entusiasmo na utilização deste tipo de ferramentas, dada a interactividade resultante do facto de poderem ver em tempo real o efeito de diferentes sons que eles próprios podem produzir e ouvir.

## 2.1 Sonómetro não integrador

A primeira ferramenta de software que foi desenvolvido simula um sonómetro simples/não integrador. A sua interface gráfica é apresentada na fig. 2. A partir de uma série temporal com os valores da pressão medida pelo microfone na sala, este sonómetro calcula o valor de pressão sonora (SP), i. e. o desvio-padrão da pressão, bem como o nível de pressão sonora, em dB, conforme definido pela equação:

$$\text{SPL} = 20 \cdot \log \frac{SP}{SP_{ref}} \quad (1)$$

onde  $SP_{ref}$  é o valor do limiar de audição, tomado como referência (20  $\mu\text{Pa}$ ).

Além de exibir o valor do nível de pressão sonora em formatos digitais e analógicos, o instrumento virtual apresenta ainda a evolução temporal do sinal de pressão medido pelo microfone.

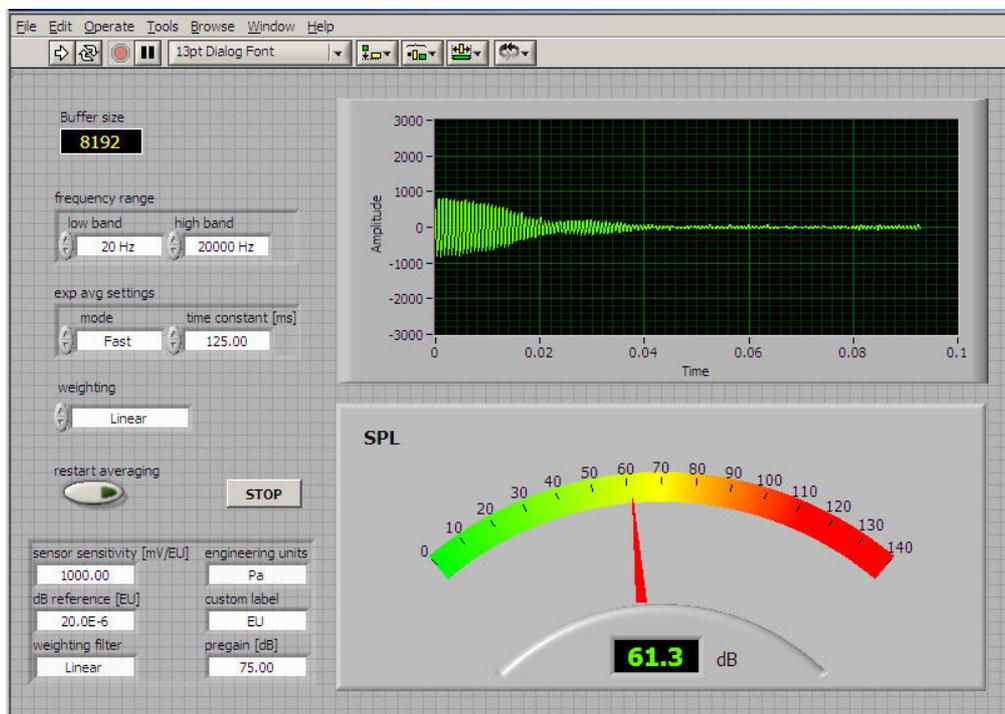


Figura 2 – Interface gráfica do software de emulação de sonómetro (medidor de SPL).

Desta forma, os alunos podem ter uma melhor compreensão das relações entre o sinal sonoro e seus descritores. É possível ajustar alguns parâmetros, como acontece num sonómetro real, como por exemplo: curva de ponderação (Linear, A, B, C ou D), a gama de frequências, o ganho de amplificação, etc. A sensibilidade do microfone, no painel de controlo do software, é ajustada através de uma fonte constante de nível sonoro e um sonómetro calibrado como referência.

Com o microfone ligado ao computador e o microfone do sonómetro colocado em posições equivalentes relativamente à fonte de ruído, a sensibilidade do microfone é ajustada de modo a obter a mesma leitura em ambos os sistemas. Este ajuste depende do ganho que tenha sido definido anteriormente no software de configuração da placa de som para o canal do microfone.

Em computadores que trabalham com o sistema operativo Microsoft Windows este ajuste é definido no Painel de Controle \ Propriedade dos dispositivos sonoros e de audio. Em caso de alteração, a sensibilidade do microfone no software virtual do sonómetro deve ser ajustada.

Para analisar o efeito do som ao longo de um determinado período de tempo, torna-se necessário outro tipo de descritor. O mais utilizado é o nível equivalente de ruído (Leq), que representa o nível de pressão sonora de um som de amplitude constante, que, num dado intervalo de tempo, contém a mesma energia do sinal que está a ser analisado.

A seguinte fórmula é utilizada para calcular Leq a partir de uma série temporal de valores de pressão sonora:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{SPL_i}{10}} \quad (2)$$

O nível equivalente de ruído representa a média energética da série temporal do nível de pressão sonora, e dá valores que podem ser substancialmente diferentes do valor da média aritmética, pelo facto de os períodos de valores máximos terem um peso muito maior no seu cálculo.

A segunda ferramenta de software que foi desenvolvida para medir e exhibir graficamente as evoluções temporais de SPL e Leq é muito útil para demonstrar aos estudantes esta realidade e, consequentemente, para os cuidados especiais que devem ser tomados ao definir parâmetros de amostragem para sinais sonoros.

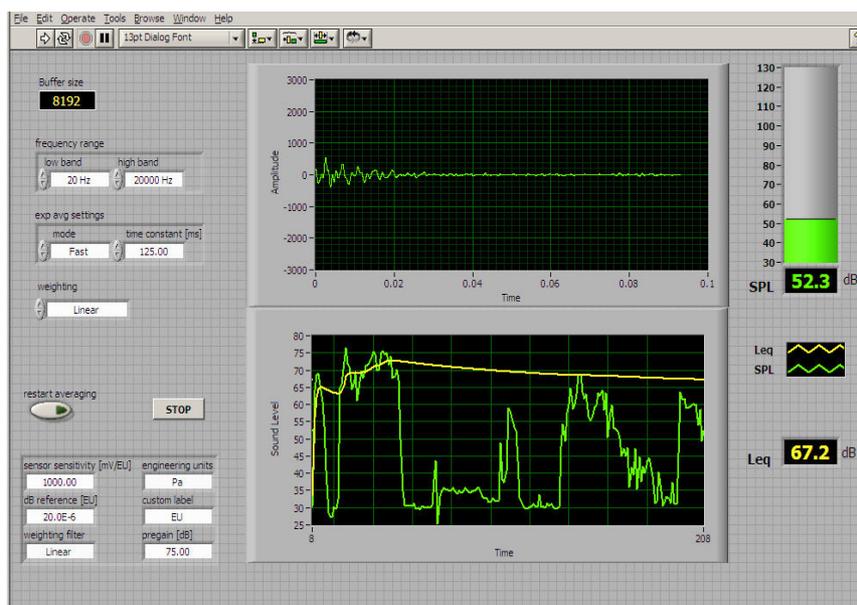


Figura 3 – Interface gráfica do software de emulação de sonómetro integrador.

Na fig. 3, apresenta-se a interface gráfica do medidor de Leq e do software do gravador virtual. Apresenta-se, na parte superior do monitor, uma janela com a evolução temporal das flutuações de pressão medidas pelo microfone durante o último décimo de segundo, sendo o nível de pressão sonora actualizado no canto superior direito, não só num display digital como também num mostrador de barra vertical. O gráfico inferior apresenta as evoluções temporais dos valores de SPL e Leq. Enquanto o gráfico de SPL é actualizado com o valor calculado no último intervalo de tempo, o valor de Leq corresponde à integração numérica desde o início da medição. Quando se analisam os gráficos de SPL (a verde) e de Leq (a amarelo) representados na figura 3, constata-se uma das características do descriptor Leq, ou seja, a partir do momento em que este alcança um certo nível, demora muito tempo a atingir uma redução significativa mesmo que o valor de SPL permaneça num nível baixo. Existe um botão para reiniciar o processo de cálculo de média localizado na parte esquerda do monitor, bem como controlos para definir os parâmetros de medição do sonómetro emulado, no que diz respeito à gama de frequência, aos factores de ponderação, ao tempo de recolha para o cálculo do SPL e à sensibilidade do hardware do sistema de medição sonora (microfone, pré-amplificador, etc).

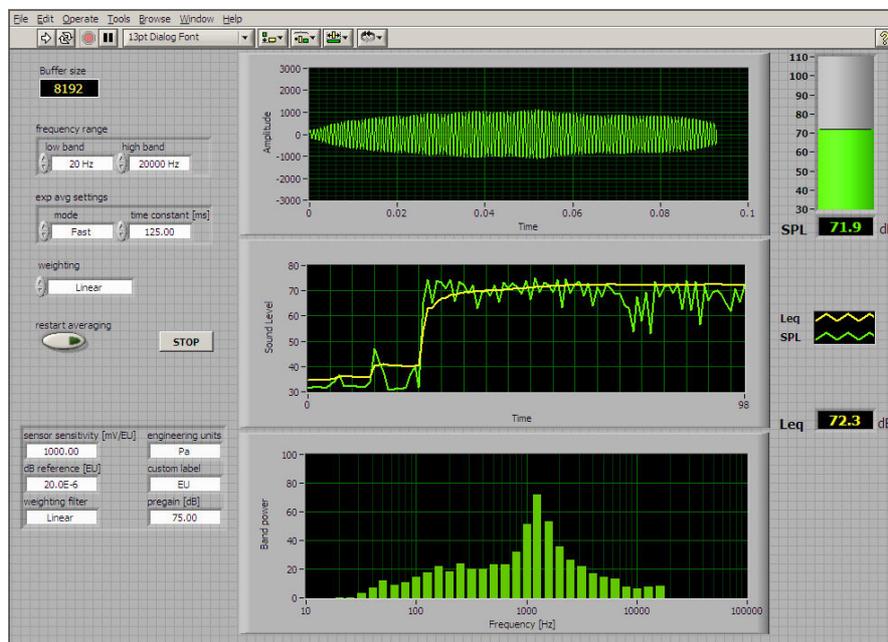


Figura 4 – Interface gráfica do software de emulação de sonómetro com analisador de frequências

Na figura 4, apresenta-se a interface gráfica do terceiro software. O instrumento emulado é um analisador de frequência por bandas de um terço de oitava. É baseado num algoritmo da transformada rápida de Fourier (FFT) e permite apresentar e actualizar, praticamente em tempo real, a análise em frequência do sinal sonoro adquirido.

O sinal é decomposto em 30 sinais elementares, cada um com uma frequência e uma amplitude dada pela barra respectiva no gráfico do espectro de frequência. A apresentação em tempo real do espectro de frequência do sinal ajuda os alunos a perceber a relação entre o gráfico e as respectivas séries de Fourier e o conteúdo tonal do som ouvido. Numa fase anterior deste mesmo curso os alunos têm o primeiro contacto com assuntos relacionados com Processamento de Sinais Digitais, nomeadamente a Densidade Espectral de Sinais. Esta oportunidade de mostrar uma aplicação prática dos conceitos teóricos que foram anteriormente transmitidos é muito conveniente. De forma a cimentar os conceitos relacionados com as séries de Fourier e ainda a soma das várias fontes de níveis de pressão sonora, é pedido aos alunos que calculem o SPL global utilizando a informação recolhida num espectro de

potência. Pede-se que este cálculo seja feito com e sem a aplicação das curvas de ponderação em frequência.

### 3 Gerador de Sinal

Utilizando também como hardware a placa de som do computador, foi desenvolvida uma aplicação computacional para fazer a geração de sinais acústicos compostos através da adição de sons monotonais com oito frequências possíveis, correspondentes aos valores centrais das bandas de oitava desde 63 Hz a 8 kHz. O software, cuja interface gráfica se apresenta na Figura 5, permite a regulação das amplitudes dos sons nas oito frequências, através do conjunto de cursores deslizantes situados no lado esquerdo. No centro do ecrã, estão dois mostradores gráficos, sendo apresentada no de cima uma janela do tipo de um osciloscópio, com a evolução temporal do sinal gerado, e no de baixo o resultado da aplicação da Transformada de Fourier Rápida ao sinal, com a identificação das frequências dos sinais elementares que o constituem. No lado direito, apresenta-se a expressão analítica da série de Fourier que corresponde ao sinal gerado, apresentado graficamente e que, em simultâneo, está a ser reproduzido através dos altifalantes do computador. Na expressão analítica, por baixo dos mostradores digitais onde são indicadas as amplitudes para cada uma das frequências, estão indicadores do tipo LED que mudam de cinzento para vermelho, se o valor da amplitude for diferente de zero, permitindo uma identificação rápida de quais os termos da expressão que são não nulos.

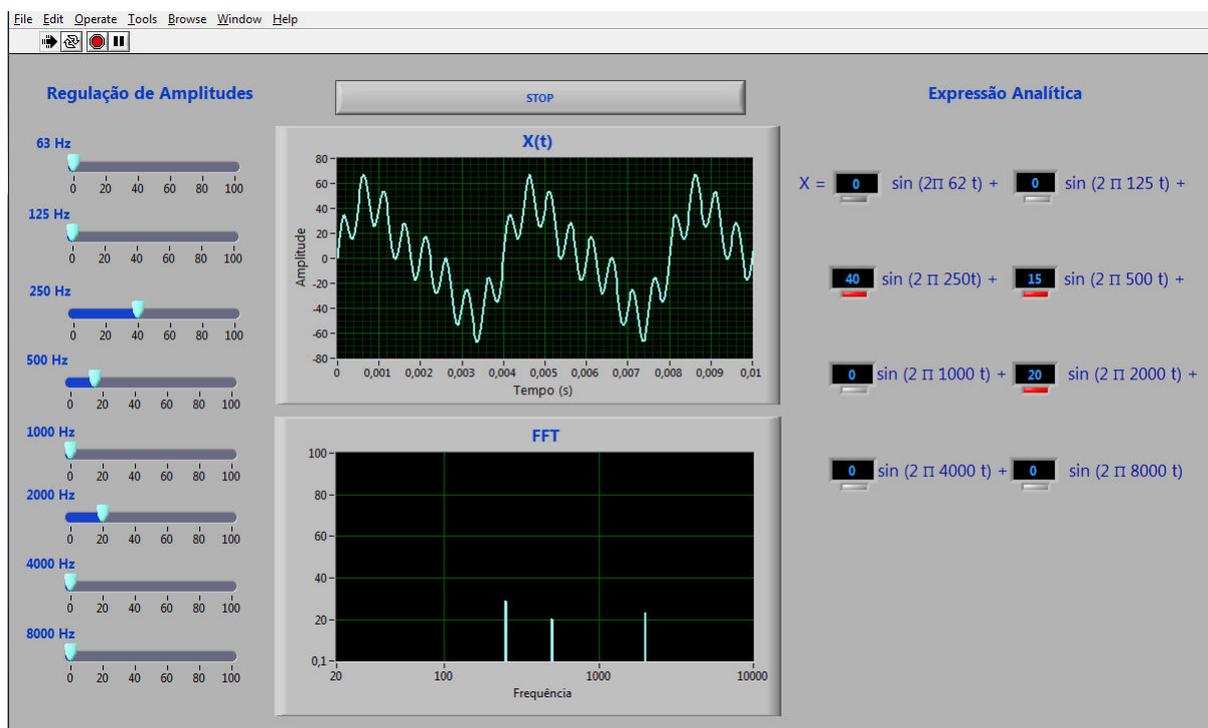


Figura 5 – Interface gráfica do software de emulação de gerador de sinais acústicos.

## 4 Conclusões

A utilização deste conjunto de aplicações computacionais resultou num saudável aumento do entusiasmo dos alunos no seguimento da exposição dos conteúdos programáticos básicos de um curso de Acústica, uma vez que é possível, de uma forma imediata, exemplificar os vários conceitos, visualizá-los graficamente, ouvir os sons que os exemplificam e estabelecer relações entre as formulações matemáticas e a realidade física.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de um projecto de criação de Laboratórios Pedagógicos Virtuais e de Acesso Remoto, no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, patrocinado pelo Banco Português de Investimento (BPI), durante o ano lectivo de 2007/2008.

### Referências

- [1] M. C. Gameiro da Silva, *Sound Measuring Virtual Instruments*, International Conference on Remote and Virtual Laboratories (REV 2007), Porto, 23 a 27 de Junho de 2007.
- [2] M. C. Gameiro da Silva “Enhancement of teaching about measurement systems in a graduation course on mechanical engineering”, 5<sup>th</sup> International Conference on Mechanics and Materials in Design, 24-26 July 2006, Porto, Portugal
- [3] M. C. Gameiro da Silva “Software tools to support teaching of signal processing and filtering in a course about measurement systems”, 5<sup>th</sup> International Conference on Mechanics and Materials in Design, 24-26 July 2006, Porto, Portugal