



## **DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA PARA CÁLCULO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS ATRAVÉS DO PROGRAMA LABVIEW**

### **Roberta Tamara da Costa Nery**

Universidade Federal do Pará – UFPA – Departamento de Engenharia Mecânica – Campus Universitário do Guamá –  
CEP: 66075-900 – Belém – Pará – Brasil  
robertanery@click21.com.br

### **Diana dos Santos Moraes**

dianamoraes@click21.com.br

### **Fábio Antônio do Nascimento Setúbal**

geffabios@gmail.com

### **Newton Sure Soeiro**

nsoeiro@ufpa.br

### **Gustavo da Silva Vieira de Melo**

gmelo@ufpa.br

**Resumo:** *O tempo de reverberação é um importante parâmetro do comportamento acústico de uma sala, visto que este exerce uma grande influência na inteligibilidade das palavras. Com o desenvolvimento tecnológico, muitos programas de medição e simulação numérica têm sido criados com o objetivo de se obter o tempo de reverberação de um ambiente. No entanto, nem sempre é possível ter acesso a esses recursos. Outra maneira é o método analítico através das mais conhecidas equações de tempo de reverberação, formuladas por Sabine e Eyring. Porém, o método analítico demanda tempo, além de ser um trabalho exaustivo. Com o objetivo de facilitar o cálculo através destas equações, este trabalho visa apresentar um programa criado a partir do software comercial LabVIEW, para a determinação do tempo de reverberação através das equações de Sabine e Eyring. O programa desenvolvido foi testado a partir de comparações com resultados experimentais, além de resultados numéricos obtidos através do software Raynoise para uma sala de testes. Tal programa apresentou resultados satisfatórios, os quais se aproximaram dos valores experimentais e numéricos, sendo, portanto, considerado apropriado para o estudo analítico do tempo de reverberação em ambientes fechados.*

**Palavras-chave:** *tempo de reverberação, ambientes fechados, LabVIEW.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um programa criado a partir do software *LabVIEW* visando reduzir tempo e trabalho com o cálculo do tempo de reverberação utilizando as tradicionais equações de Sabine e Eyring (Gerges, 2000). Tal programa, intitulado “Tempo de Reverberação – TR 60” foi testado a partir de um estudo de caso realizado em uma sala real, na qual foram realizadas medições do tempo de reverberação, as quais foram posteriormente comparadas aos resultados obtidos em uma simulação numérica da mesma sala no software *Raynoise* (Moraes, 2006). O programa desenvolvido apresentou resultados satisfatórios, os quais se aproximaram dos valores experimentais e numéricos, sendo considerado apropriado para o estudo analítico do tempo de reverberação em ambientes fechados.

## 2. TEMPO DE REVERBERÇÃO

O tempo de reverberação é uma característica importante em uma sala. A idéia originalmente concebida por Wallace Clement Sabine, consiste na existência de um tempo característico para o som atingir um nível inaudível em uma sala (Gerges, 2000). O campo sonoro dentro da sala e seu espectro dependem das características de absorção sonora das superfícies internas, além da geometria do recinto.

O tempo de reverberação ótimo depende do uso de cada sala. Assim, características de uma sala para mensagem falada são diferentes de uma sala para música, por exemplo. A Fig 1 apresenta o tempo ótimo de reverberação em função do volume e de cada tipo de sala na banda de frequência de 500 Hz.

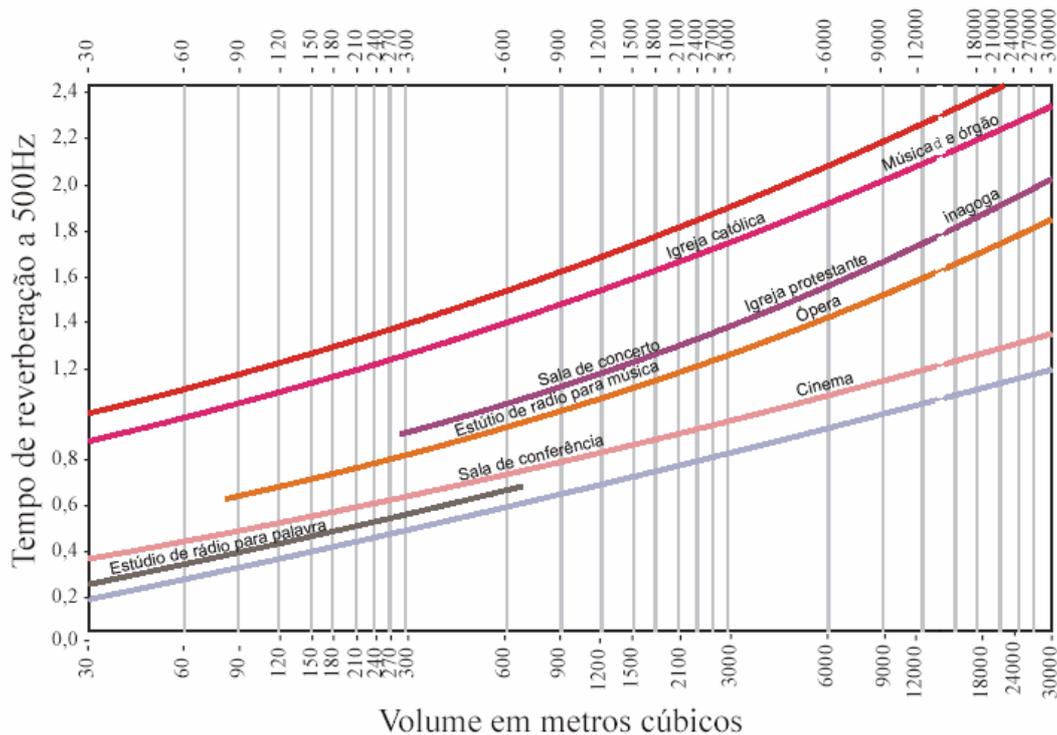


Figura 1 – O tempo de reverberação. Fonte: Navarro (2004).

### 2.1. Equação de Sabine

Os fatores que determinam o tempo de reverberação são: volume, forma da sala, tipo e forma de distribuição dos materiais de absorção sonora. De acordo com Sabine, o tempo de reverberação  $Tr$  é definido como o tempo correspondente ao decaimento do nível de intensidade sonora de 60 dB no interior de um recinto, a partir do nível estacionário (Gerges, 2000):

$$Tr = 0,161 \frac{V}{A} \quad (1)$$

onde,  $V$  é o volume ( $m^3$ ) e  $A$  é a absorção total (sabines) dada pela equação:

$$A = \sum_i \alpha_i S_i \quad (2)$$

sendo  $S_i$  a área das superfícies da sala ( $m^2$ ) e  $\alpha_i$  o coeficiente de absorção sonora (adimensional).

A equação de Sabine foi deduzida para condições de campo difuso (onde reflexões sonoras durante o decaimento do som são suficientes para criar uma distribuição de densidade de energia uniforme), não sendo aplicável nos casos em que o coeficiente médio de absorção sonora é alto.

## 2.2. Equação de Eyring

Uma modificação na equação de Sabine para ambientes de alta absorção foi sugerida por Eyring, que considera as múltiplas reflexões das paredes como um grupo equivalente de fontes imagens. A energia acústica em qualquer ponto consiste na acumulação de incrementos sucessivos provenientes da fonte verdadeira (Gerges, 2000). Dessa forma, o tempo de reverberação passa a ser calculado através da seguinte equação:

$$Tr = 0,161 \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (3)$$

Essa equação é mais precisa que a equação de Sabine, quando o coeficiente médio de absorção sonora,  $\bar{\alpha}$  é grande. Normalmente, a equação de Eyring é utilizada em salas com  $\bar{\alpha}$  superior a 20%.

## 3. PROGRAMA DESENVOLVIDO CRIADO NO LABVIEW PARA DETERMINAÇÃO DE TR

### 3.1. Software LabVIEW

O *LabVIEW* é um software aplicativo baseado na linguagem G (linguagem de programação gráfica) que emprega ícones ao invés de textos para criar aplicações. Diferentemente das linguagens de programação baseadas em textos (linhas de comando), onde as instruções determinam a execução do programa, a programação em *LabVIEW* está baseada no fluxo de dados, onde os dados determinam a execução, trazendo algumas vantagens para aplicações científicas e de engenharia, principalmente em aplicações de aquisição e manipulação de dados.

A Fig 2 ilustra a programação através de ícones, onde é obtida a soma de dois valores de entrada (a e b), conectados a função que executa a operação de adição.

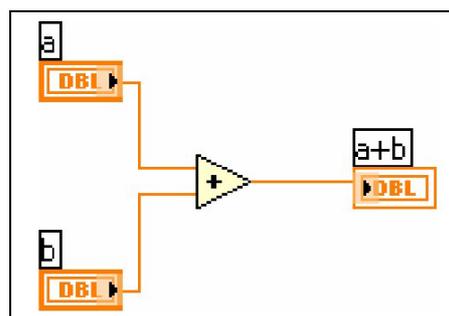


Figura 2 – Programação através de ícones.

### 3.2. Descrição do Programa

O programa “Tempo de Reverberação – TR 60” calcula o tempo de reverberação [s] através das fórmulas de Sabine e Eyring. Sendo necessário inserir as dimensões da sala, isto é, comprimento [m], largura [m] e altura [m], obtendo como resultados iniciais o volume [ $m^3$ ] e área total [ $m^2$ ]. De acordo com cada superfície do recinto, o programa possibilita ao usuário inserir até dez tipos de materiais diferentes, com suas respectivas áreas e coeficientes de absorção sonora em bandas de oitava, de 125 a 4000 Hz. Assim, pode-se obter, além dos tempos de reverberação, o coeficiente de absorção médio e a absorção total [sabines], em cada banda de frequência. O programa apresenta um gráfico que possibilita a visualização das curvas referentes aos tempos de reverberação [s], como pode ser observado na Fig 3.

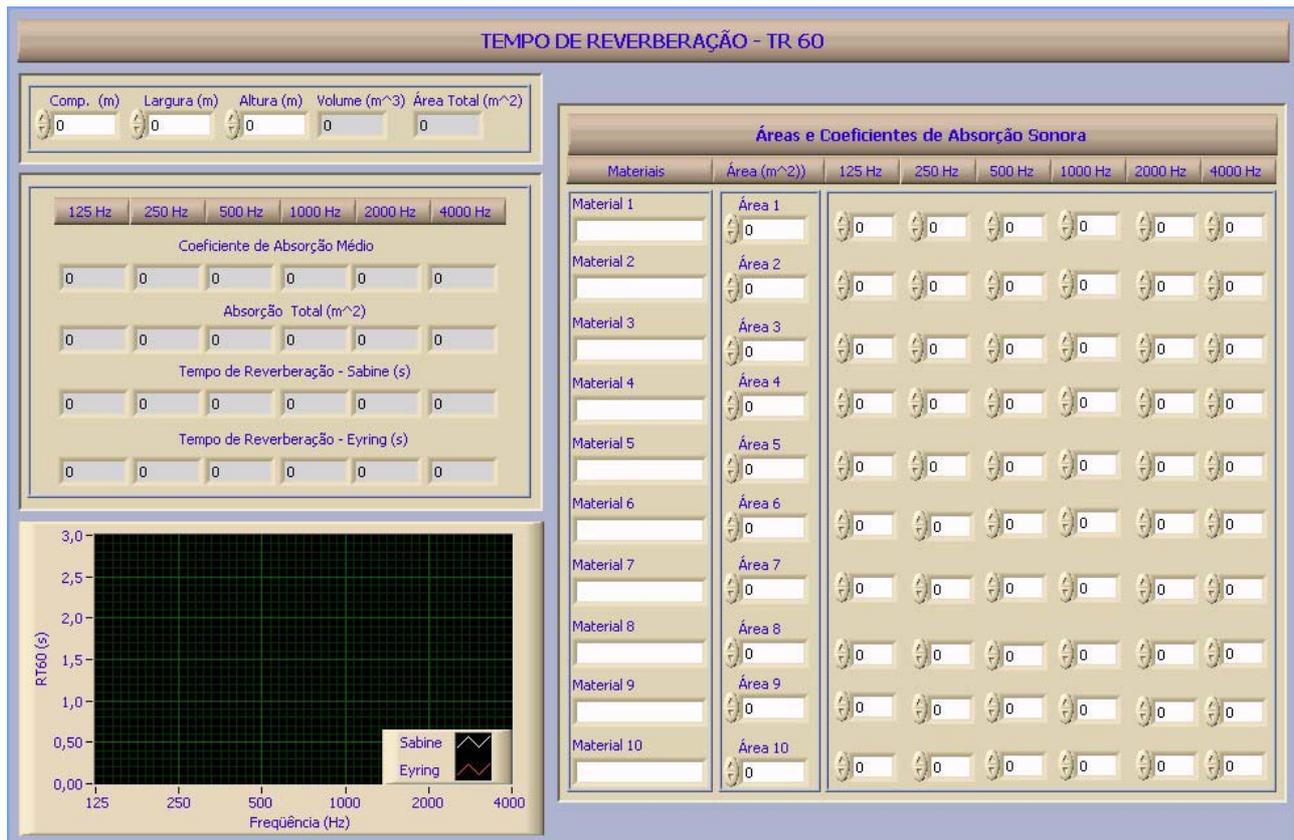


Figura 3 – Programa “Tempo de Reverberação – TR 60”.

### 3.3. Validação do Programa

Para validação do programa desenvolvido foram inseridos dados obtidos de uma sala real. Os resultados obtidos foram então comparados com valores experimentais e numéricos. Os valores experimentais foram obtidos através do decaimento do nível de pressão sonora da sala, a partir do seu nível de estado estacionário. As medições foram realizadas em seis diferentes pontos da sala com diferentes alturas de microfones. Foram realizadas três medições por ponto para duas posições diferentes de fonte sonora. Desta forma, pôde-se obter uma média que representasse o tempo de reverberação real da sala (ver Fig 4).

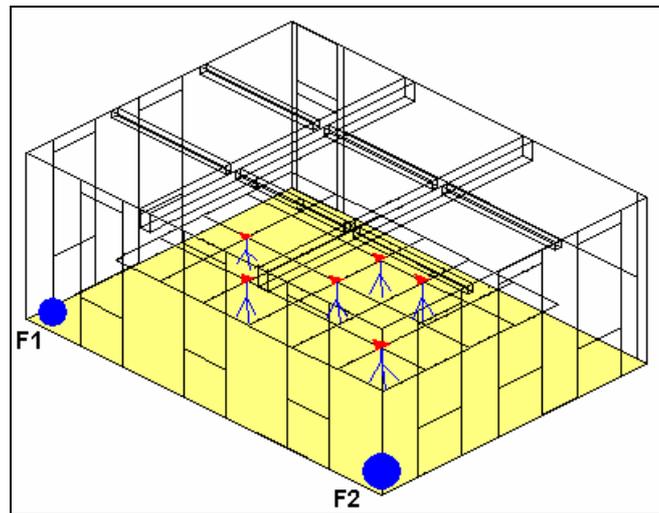


Figura 4 – Geometria da Sala, com disposição de Fontes e Microfones.

Os valores numéricos resultaram de uma simulação realizada no *software* comercial *Raynoise* (Moraes, 2006). Para melhor validação do modelo, a análise computacional seguiu a mesma metodologia da análise experimental. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figs 5 e 6.

Observou-se que os resultados experimentais e numéricos em ambas as equações foram satisfatórios, pois, obtiveram uma grande aproximação, principalmente nas bandas de altas frequências. Porém, os valores de  $Tr$  de Sabine e de Eyring analíticos foram maiores que os resultados experimentais e dos numéricos. É preciso ressaltar, no entanto, que há uma aproximação maior entre os resultados experimentais e numéricos em virtude da simulação numérica ter sido realizada em um *software* baseado na acústica de raios, o que não invalida os resultados analíticos para um estudo preliminar de um ambiente.

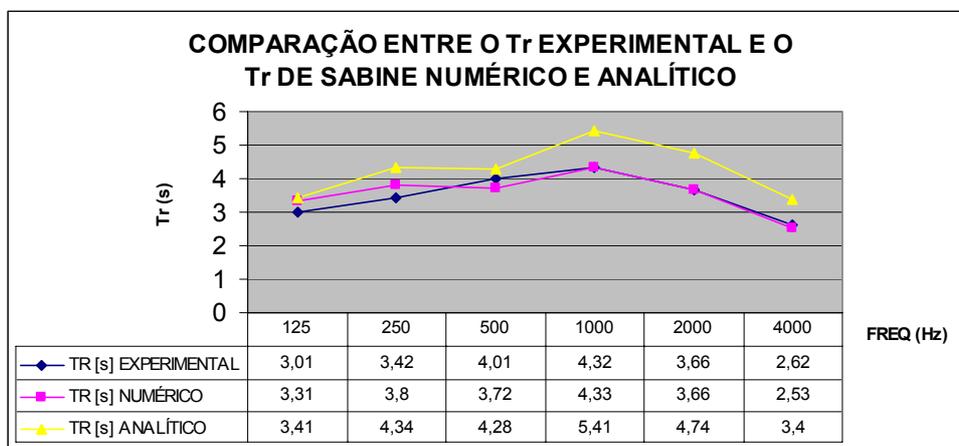


Figura 5 – Comparação entre os resultados de  $Tr$  de Sabine.

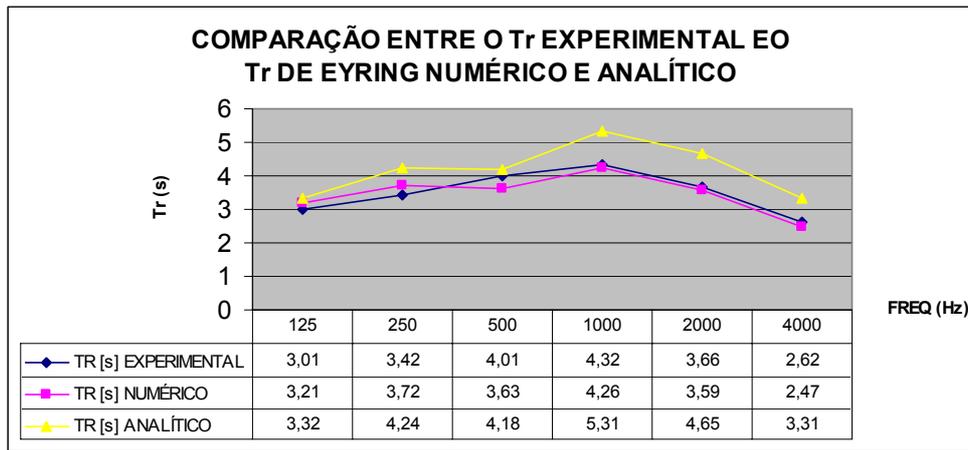


Figura 6 – Comparação entre os resultados de  $T_r$  de Eyring.

O tempo de reverberação calculado para a sala real através do programa “Tempo de Reverberação – TR 60” pode ser observado na Fig 7.

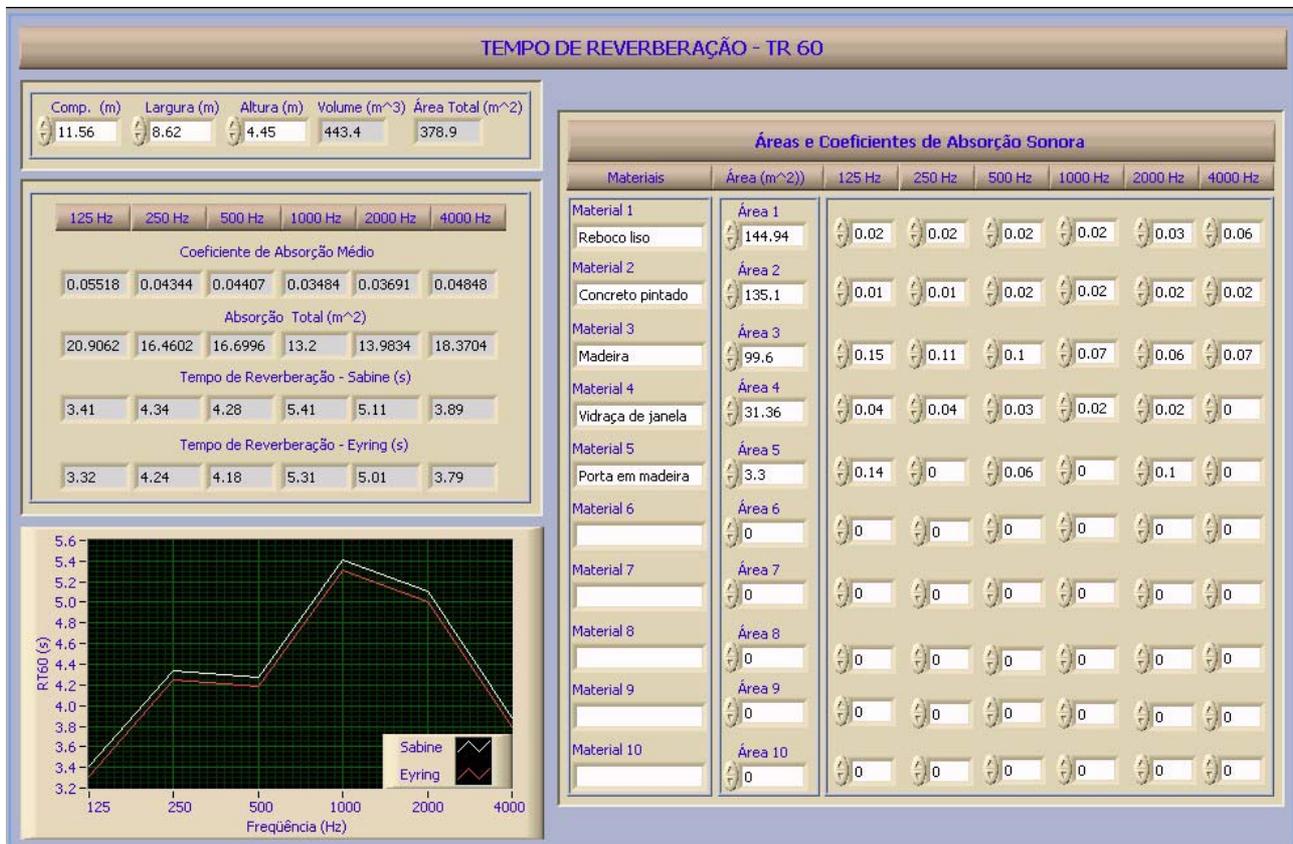


Figura 7 – Cálculo do  $T_r$  da sala real através do programa “Tempo de Reverberação – TR 60”.

#### 4. REFERÊNCIAS

GERGES, Samir N. Y. **Ruído Fundamento e Controle**. 2ª Ed. NR Editora. Florianópolis – SC, 2000.p. 299-336.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.179/1992. Tratamento Acústico em Recintos Fechados**. Rio de Janeiro, 1992.

ZANNIN, P. H. T. et al. **Comparação entre Tempos de Reverberação Calculados e Medidos**. Ambiente Construído, Porto alegre, v.5, nº4, p75-85, Out/Dez, 2005.

NATIONAL INSTRUMENTS, **LabVIEW - User Manual**, 2000.

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA PARA CÁLCULO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS ATRAVÉS DO PROGRAMA LABVIEW

## **Roberta Tamara da Costa Nery**

Universidade Federal do Pará – UFPA – Departamento de Engenharia Mecânica – Campus Universitário do Guamá –  
CEP: 66075-900 – Belém – Pará – Brasil  
robertanery@click21.com.br

## **Diana dos Santos Moraes**

dianamoraes@click21.com.br

## **Fábio Antônio do Nascimento Setúbal**

geffabios@gmail.com

## **Newton Sure Soeiro**

nsоеiro@ufpa.br

## **Gustavo da Silva Vieira de Melo**

gmelo@ufpa.br

**Abstract:** *The reverberation time is an important parameter of the acoustic behavior of a room, since it exerts a great influence on the intelligibility of speech. With the technological development, many programs for measurement and numerical simulation have been created with the objective of quantifying the reverberation time of an environment. However, nor always it is possible to have access to these resources. Another way is the analytical method related to the most known equations of reverberation time, developed by Sabine and Eyring. However, this method demands time, apart from being an exhausting work. With the objective to facilitate the calculation using these equations, this work aims to present a program based on the LabVIEW software, for the determination of the reverberation time. Validation is achieved by comparison with experimental and numerical results, where the latter were obtained by use of the Raynoise software. The developed program produced good agreement after comparison with numerical experimental data, and, therefore is considered appropriate for the analytical study of the reverberation time in enclosures.*

**Keywords:** *reverberation time, closed environments, LabVIEW.*