

# Projeto Painéis Acústicos

**GVA – UFPA**





**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Rodrigo José de Andrade Vieira**

**DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS CONFECCIONADOS A PARTIR DE FIBRAS  
DE COCO PARA CONTROLE ACÚSTICO DE RECINTOS**

**Belém – Pará – Brasil**

**2008**

**Rodrigo José de Andrade Vieira**

**DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS CONFECCIONADOS A PARTIR DE FIBRAS  
DE COCO PARA CONTROLE ACÚSTICO DE RECINTOS**

**Dissertação apresentada para obtenção  
do Grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica, Instituto de Tecnologia,  
Universidade Federal do Pará.**

**Área de Concentração: Vibrações e  
Acústica.**

**Orientador: Prof. Dr. Newton Sure Soeiro.**

**Belém – Pará – Brasil**

**2008**

**Rodrigo José de Andrade Vieira**

**DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS CONFECCIONADOS A PARTIR DE FIBRAS  
DE COCO PARA CONTROLE ACÚSTICO DE RECINTOS**

**Dissertação apresentada para obtenção  
do Grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica, Instituto de Tecnologia,  
Universidade Federal do Pará.  
Área de Concentração: Vibrações e  
Acústica.**

**Data de Aprovação: 31 de Outubro de 2008.**

**Banca Examinadora:**

**– Orientador**

---

**Prof. Newton Sure Soeiro, Doutor.  
Universidade Federal do Pará.**

---

**Prof. Erasmo Felipe Vergara, Doutor.  
Universidade Federal de Santa Maria.**

---

**Prof. Antonio Jorge Hernández Fonseca, Doutor.  
Universidade do Estado do Pará.**

---

**Prof. Gustavo da Silva Vieira de Melo, Doutor.  
Universidade Federal do Pará.**

Aos meus pais: Benevenuto e Rosester.

Ao meu irmão: Rafael.

Aos meus avós: Jefferson e Neuza (*Em Memória*).

Ao meu tio: Roberto.

## AGRADECIMENTOS

- ❖ A **Deus**, inteligência suprema, causa primária de todas as coisas, que me deu vida e oportunidade de exercitar a razão primeiro, para encontrá-lo depois em meu coração.
- ❖ Aos meus pais **José Benevenuto e Rosester Maria de Andrade Vieira**, que souberam educar-me despertando em mim o gosto pelo estudo acompanhando-me com muita dedicação em todas as etapas de minha vida.
- ❖ Ao meu irmão **Rafael**, meu avô **Jefferson** e ao meu tio **Roberto**, por seus carinhos, estímulos e compreensão pelo tempo que “roubei” de nosso convívio.
- ❖ A **Silvia**, que sempre esteve ao meu lado mesmo nas horas mais difíceis e que nunca me deixou parar de seguir o caminho que tracei para alcançar meus objetivos.
- ❖ À **Universidade Federal do Pará - UFPA**, que me deu a oportunidade de ter acesso aos estudos de graduação, pós-graduação e à pesquisa, possibilitando meu aperfeiçoamento profissional.
- ❖ Ao **Prof. Dr. Newton Sure Soeiro**, pela orientação, amizade e confiança em mim depositada, bem como por ter acreditado neste trabalho.
- ❖ Ao **Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo**, em primeiro lugar pela grande amizade construída no dia-dia e fora da universidade além da orientação e importante ajuda a mim oferecida.
- ❖ Ao **Prof. MsC. Celso Augusto Coelho**, que desde o começo de minha graduação sempre me ajudou no desenvolvimento de meus trabalhos científicos e principalmente na minha formação como aluno universitário.
- ❖ Ao **Prof. Dr. Antonio Luciano Seabra**, que teve grandiosa importância no meu crescimento profissional e humano, não só como professor do departamento, mas principalmente como tutor do Grupo Pet ao qual devo muitas de minhas vitórias.
- ❖ Aos **Prof(s). Dr(s). Fonseca, Eduardo, Carlos Umberto, Carmem, Mota, Daniel, Manoel Nogueira, Gonçalo Rendeiro, Danielle** e aos demais professores, que em nenhum momento deixaram de oferecer auxílio técnico, operacional e pedagógico ao desenvolvimento deste trabalho.

- ❖ Aos **Técnicos Jesus, Lázaro, Edmundo, Odilon, ao Eng. Sergio Elarrat** e aos demais técnicos e engenheiros do Laboratório de Engenharia Mecânica pelo auxílio e contribuição prestados a este projeto de pesquisa.
- ❖ A todos os **Integrantes do GVA** – Grupo de Vibrações e Acústica do Laboratório de Eng. Mecânica da UFPA, não só por terem contribuído diretamente, mas por serem elementos fundamentais para a conclusão deste trabalho.
- ❖ A **Juliana, Natali e Valéria** que sempre estiveram a disposição e participaram diretamente das etapas finais deste trabalho.
- ❖ Ao meu amigo **Gabriel** que sempre tentou me manter motivado e com a certeza de que alcançaria meus objetivos.
- ❖ À empresa **POEMATEC** por ter cedido seus técnicos, seus equipamentos e suas instalações para a realização de ensaios experimentais, além de ter contribuído com a confecção e doação de amostras de alguns painéis de fibras de coco.
- ❖ À empresa **Eletronorte S/A**, por ter cedido seus técnicos e seus equipamentos para a realização de ensaios experimentais.
- ❖ A todas as pessoas e empresas, que infelizmente não escrevi aqui seus nomes, mas que de uma forma ou de outra, contribuíram para o sucesso deste trabalho.
- ❖ A todos, meu **RECONHECIMENTO** e **PROFUNDA GRATIDÃO** por todos os momentos vividos durante esta jornada.

**“Coloquemos os nossos sonhos nas estrelas por mais que fiquemos no meio do caminho.”**

**Tolstoi.**

**“Quando me desespero, lembro que ao longo da história o amor e a verdade sempre venceram.”**

**Mohandas Karanchand Ghandi.**

**“Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum – para si mesmo ou para os outros – abandoná-lo quando assim ordena o coração. (...) Olhe cada caminho com cuidado e atenção. Tente-o tantas vezes quantas julgar necessárias... Então, faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta: possui esse caminho um coração? Em caso afirmativo, o caminho é bom. Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.”**

**Carlos Castañeda, The Teachings of Don Juan.**

**(Do livro o Tao da Física – Fritjof Capra)**



## RESUMO

Uma boa alternativa para o controle de ruído em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto fibrosos. A característica de absorção acústica de um material é determinada pelo coeficiente de absorção sonora que depende principalmente da frequência, ângulo de incidência do som, densidade, espessura e estrutura interna do material. Da Amazônia, devido a sua sobrepujante biodiversidade, são retirados milhares de produtos e subprodutos naturais, alguns dos quais não são totalmente aproveitados. Dessa forma, muitos resíduos chegam a outros setores industriais, como é o caso da fibra de coco que é utilizada das mais diversas formas. Assim, o presente trabalho define e descreve um processo de fabricação de painéis acústicos, a partir da fibra de coco, com a determinação experimental dos principais parâmetros visando o controle acústico de recintos, além de desenvolver um modelo numérico para estabelecimento de parâmetros de controle de qualidade e custo, que auxiliem no desenvolvimento e na fabricação de novos painéis. Primeiramente, são coletadas as informações necessárias para iniciar o processo de desenvolvimento dos painéis de fibra de coco, seguindo uma metodologia de desenvolvimento de produto, baseada no “projeto informacional”. Em seguida, são descritas todas as etapas do processo de fabricação destes painéis, para posterior obtenção de suas principais propriedades físico-químicas, mecânicas e acústicas. Com as simulações numéricas, buscou-se analisar e prever o comportamento de um painel de fibra de coco (além de um painel de espuma comercialmente disponível), e investigar a sua influência sobre os parâmetros acústicos de um auditório (tempo de reverberação, decaimento da pressão sonora e inteligibilidade). Com o desenvolvimento dos painéis pretende-se contribuir para a criação de novos setores na economia do estado, principalmente quando se considera o alto custo dos painéis comercializados no sul do país. Finalmente, outra vantagem significativa é a possibilidade da utilização destes painéis dentro do contexto das linhas arquitetônicas regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

**Palavras-chave:** Painéis Absorvedores; Fibra de Coco; Controle Acústico.

## ABSTRACT

A reasonable alternative for noise control in enclosures is based on the use of sound absorption materials (porous and fibrous), which convert acoustic energy into heat, due to air viscosity. The material acoustic absorption characteristic is determined by its sound absorption coefficient, which depends mainly on frequency, sound incidence angle, density, thickness and internal structure of the material. From the Amazon, due to its enormous biodiversity, thousands of natural products and sub products are retrieved, some of which are not completely used. Thus, many residues reach other industrial sectors, such is the case of the coconut fiber, which can be used in many ways. Therefore, the present work defines and describes an acoustic panel manufacturing process, based on coconut fiber, including the experimental determination of important parameters for noise control in enclosures. Also, a numerical model is implemented to investigate cost and quality control parameters, in order to assist the development and manufacturing of new panels. First, the necessary information is collected to start the development process of coconut fiber panels, following an “informational project” methodology. Next, all the steps related to the panel manufacturing process are described, looking forward to obtaining its acoustical, mechanical and physical-chemical main properties. From the numerical simulations, one tries to analyze and predict the coconut fiber panel behavior (apart from a commercially available acoustical panel), and investigate its influence over the acoustical parameters of an auditorium (reverberation time, sound pressure decay, and intelligibility). With the development of the coconut fiber panels, one expects to contribute for the creation of new sectors on the local economy, mainly considering the elevated costs of the actual acoustical panels available in the market. Finally, another outstanding advantage of the coconut fiber panels proposed here is the possibility of its usage in the context of regional architecture, where emphasis is given on local materials.

**Keywords:** Sound Absorbing Panels; Coconut Fiber; Acoustic Control.

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	27
1.2 – O “COCO” .....	29
1.3 – OBJETIVOS DO TRABALHO .....	34
1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO .....	35
<b>2 – LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES E DADOS DE CAMPO .....</b>	<b>38</b>
2.1 – INTRODUÇÃO .....	38
2.2 – METODOLOGIA ADOTADA .....	38
2.3 – ESTUDO DE “ <i>MARKETING</i> ” (PESQUISA DE MERCADO) .....	54
2.4 – OBJETOS DE ANÁLISE .....	57
2.4.1 – Indústrias .....	59
2.4.1.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados” .....	60
2.4.1.2 – Análise dos Resultados .....	62
2.4.2 – Projetistas (Engenheiros e Arquitetos) .....	62
2.4.2.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados” .....	63
2.4.2.2 – Análise dos Resultados .....	65
2.4.3 – Estúdios de Música .....	65
2.4.3.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados” .....	66
2.4.3.2 – Análise dos Resultados .....	70
<b>3 – A FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS .....</b>	<b>71</b>
3.1 – INTRODUÇÃO .....	71
3.2 – AS ETAPAS DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS .....	71
<b>4 – PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE FIBRA DE COCO .....</b>	<b>78</b>
4.1 – INTRODUÇÃO .....	78
4.2 – FIBRA DE COCO .....	78
4.2.1 – Especificações Gerais .....	79
4.2.2 – <i>Regain</i> .....	79

4.2.3 – Porosidade .....	80
4.2.4 – Densidade .....	82
4.2.5 – Tensão de Ruptura .....	83
4.2.6 – Alongamento Máximo .....	86
4.3 – PAINEL DE FIBRAS DE COCO .....	87
4.3.1 – Densidade .....	88
4.3.2 – Gramatura .....	90
4.3.3 – Flamabilidade .....	91
4.3.4 – Indentação .....	96
4.3.5 – Olfativo .....	99
4.3.6 – <i>Fogging</i> (FOG) .....	100
4.3.7 – Envelhecimento .....	102
4.3.8 – Fungamento .....	102
4.3.9 – Porosidade .....	103
4.3.10 – Resistividade ao Fluxo .....	108
4.3.11 – Tortuosidade .....	111
4.3.12 – Módulo de Elasticidade Dinâmico .....	114
4.3.13 – Módulo de Compressibilidade do Fluido no Interior dos Poros (Fator Q) .....	118
<b>5 – COEFICIENTE DE ABSORÇÃO .....</b>	<b>119</b>
5.1 – INTRODUÇÃO .....	119
5.2 – TUBO DE IMPEDÂNCIA .....	119
5.2.1 – Método da Função de Transferência .....	120
5.2.2 – Resultados dos Painéis Acústicos .....	129
5.2.3 – Considerações e Comparações dos Resultados .....	145
5.3 – MINI-CÂMARA REVERBERANTE .....	151
5.3.1 – Resultados dos Painéis Acústicos .....	156
5.3.2 – Considerações e Comparações dos Resultados .....	166
<b>6 – ANÁLISE NUMÉRICA DO PAINEL ACÚSTICO .....</b>	<b>171</b>
6.1 – INTRODUÇÃO .....	171
6.2 – SIMULAÇÃO NUMÉRICA .....	171

6.3 – RESULTADOS NUMÉRICOS .....	174
<b>7 – ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE UM RECINTO FECHADO</b>	<b>186</b>
7.1 – INTRODUÇÃO .....	186
7.2 – SIMULAÇÃO NUMÉRICA .....	188
7.3 – VALIDAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO .....	191
7.4 – RESULTADOS E COMPARAÇÕES .....	199
<b>8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>206</b>
8.1 – CONCLUSÕES .....	206
8.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	210
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>213</b>
<b>REFERÊNCIAS CONSULTADAS</b> .....	<b>217</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>224</b>
<b>AP.A</b> – QUESTIONÁRIO DAS INDÚSTRIAS .....	224
<b>AP.B</b> – QUESTIONÁRIO DOS PROJETISTAS (ENGENHEIROS E ARQUITETOS) .....	232
<b>AP.C</b> – QUESTIONÁRIO DOS ESTÚDIOS DE MÚSICA .....	240
<b>AP.D</b> – PROGRAMA PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO E DE ABSORÇÃO NORMAL (TUBO DE IMPEDÂNCIA) .....	248
<b>AP.E</b> – ROTINA COMPUTACIONAL SYSNOISE/VIOLINS (PAINEL III.2) .....	252
<b>AP.F</b> – ROTINA COMPUTACIONAL SYSNOISE/VIOLINS (PAINEL IV) .....	256
<b>AP.G</b> – ABSORCOCO – PAINÉIS DE FIBRAS DE COCO (PORTEFÓLIO) ....	260
<b>ANEXOS</b> .....	<b>262</b>
<b>AN.A</b> – METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO COM A TÉCNICA DE UM MICROFONE .....	262

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Processo artesanal de beneficiamento da fibra de coco .....	31
1.2	Tapete, boneco e cestas de fibra de coco .....	31
1.3	Vasos e abajur de fibra de coco .....	31
1.4	Vestidos, bolsas e sapatos de fibra de coco .....	32
1.5	Uso da fibra de coco para decoração de ambientes e para jardinagem .....	32
1.6	Utilização e aplicação de mantas de fibra de coco para o controle de erosão .....	32
1.7	Uso da fibra de coco na indústria .....	33
2.1	Processo de projeto como transformação de informações .....	45
2.2	Processo geral de projeto .....	45
2.3	Transformações das informações dentro da primeira fase do processo de projeto .....	46
2.4	Classificação resumo dos atributos do produto .....	50
2.5	Conversão de necessidades em requisitos de usuário .....	51
3.1	Fardos (início do processo) .....	73
3.2	Processo de desfibramento .....	73
3.3	Fabricação das cordas .....	74
3.4	Painel de fibras de coco semi-acabado .....	75
3.5	Painel com 60 kg/m <sup>3</sup> .....	76
3.6	Manta com 18 kg/m <sup>3</sup> .....	76
4.1	Balança, corpos de prova e estufa .....	80
4.2	Picnômetros .....	82
4.3	Máquina de tração e microscópio óptico .....	84
4.4	Detalhe das garras e da fibra (máquina de tração) .....	84
4.5	Ensaio para determinação da densidade dos painéis .....	88
4.6	Compressão lateral do painel de 18 kg/m <sup>3</sup> .....	89
4.7	Compressão lateral do painel de 60 kg/m <sup>3</sup> .....	90
4.8	Compressão lateral do painel de 130 kg/m <sup>3</sup> .....	90
4.9	Capela de exaustão com a cabine de combustão .....	92
4.10	Detalhe da cabine de combustão .....	92

<b>4.11</b>	Detalhe da cabine de combustão com o bico de busen aceso .....	93
<b>4.12</b>	Ensaio de flamabilidade em andamento .....	93
<b>4.13</b>	Indentador .....	96
<b>4.14</b>	Aplicação da carga de 5 kgf (indentador) .....	97
<b>4.15</b>	Extensão, porta-amostras e superfície rígida utilizadas no ensaio de porosidade .....	103
<b>4.16</b>	Prensa hidráulica utilizada no ensaio de porosidade .....	104
<b>4.17</b>	Compressão da amostra durante o ensaio de porosidade .....	104
<b>4.18</b>	Amostras para o Teste de Porosidade .....	105
<b>4.19</b>	Amostras de fibra de coco compactadas após o ensaio de porosidade .....	106
<b>4.20</b>	Amostra imersa no beker e, ao lado, proveta para medição do volume deslocado .....	107
<b>4.21</b>	Bancada para medição da resistividade ao fluxo .....	108
<b>4.22</b>	Detalhe do material utilizado na bancada para medição da resistividade ao fluxo .....	109
<b>4.23</b>	Detalhe do rotâmetro na bancada para medição da resistividade ao fluxo .....	109
<b>4.24</b>	Amostras para o teste de resistividade ao fluxo .....	110
<b>4.25</b>	Bancada para medição da tortuosidade .....	111
<b>4.26</b>	Bancada para medição da tortuosidade totalmente submersa em água .....	112
<b>4.27</b>	Vista esquemática da bancada para medição da tortuosidade .....	112
<b>4.28</b>	Medição da diferença de potencial nas varetas da bancada de tortuosidade .....	112
<b>4.29</b>	Amostras para o teste de tortuosidade .....	113
<b>4.30</b>	Suporte para fixação das amostras ao “ <i>shaker</i> ” .....	115
<b>4.31</b>	Ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico .....	115
<b>4.32</b>	Detalhes do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico .....	116
<b>4.33</b>	Amostras para o teste de determinação do módulo de elasticidade dinâmico .....	117

<b>5.1</b>	Conjunto de medição do coeficiente de absorção normal – tubo de impedância .....	120
<b>5.2</b>	Sistema de aquisição de dados ( <i>notebook</i> , “Pulse”, amplificador).....	120
<b>5.3</b>	Fonte sonora do tubo de impedância .....	121
<b>5.4</b>	Vista explodida da fonte sonora do tubo de impedância .....	121
<b>5.5</b>	Suporte dos microfones (tubo grande) .....	122
<b>5.6</b>	Tubo de impedância grande (diâmetro 0,097 m) – vista frontal .....	122
<b>5.7</b>	Tubo de impedância grande (diâmetro 0,097 m) – vista isométrica ....	122
<b>5.8</b>	Detalhe dos anéis de vedação de borracha .....	123
<b>5.9</b>	Detalhe do tangenciamento dos microfones e do “porta amostras” ....	123
<b>5.10</b>	Suporte dos microfones (tubo pequeno) .....	124
<b>5.11</b>	Tubo de impedância pequeno (diâmetro 0,027 m) .....	124
<b>5.12</b>	Detalhe do “porta amostras” .....	124
<b>5.13</b>	Amostras do painel de 130 kg/m <sup>3</sup> com 0,05 m e 0,1 m de espessura para o ensaio do tubo de impedância .....	129
<b>5.14</b>	Amostras preparadas para o ensaio do tubo de impedância .....	130
<b>5.15</b>	Amostras identificadas para o ensaio do tubo de impedância .....	130
<b>5.16</b>	Amostras dos painéis de espuma escolhidos para o ensaio nos tubos de impedância .....	131
<b>5.17</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande sem amostra .....	131
<b>5.18</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno sem amostra .....	132
<b>5.19</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância sem amostra .....	132
<b>5.20</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo I.1 .....	133
<b>5.21</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo I.1 .....	133
<b>5.22</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo I.1 .....	134
<b>5.23</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo I.2 .....	134



<b>5.24</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo I.2 .....	135
<b>5.25</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo I.2 .....	135
<b>5.26</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo II.1 .....	136
<b>5.27</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo II.1 .....	136
<b>5.28</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo II.1 .....	137
<b>5.29</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo II.2 .....	137
<b>5.30</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo II.2 .....	138
<b>5.31</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo II.2 .....	138
<b>5.32</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo III.1 .....	139
<b>5.33</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo III.1 .....	139
<b>5.34</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo III.1 .....	140
<b>5.35</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo III.2 .....	140
<b>5.36</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo III.2 .....	141
<b>5.37</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo III.2 .....	141
<b>5.38</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo IV .....	142
<b>5.39</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo IV .....	142

<b>5.40</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo IV .....	143
<b>5.41</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo V .....	143
<b>5.42</b>	Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo V .....	144
<b>5.43</b>	Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo V .....	144
<b>5.44</b>	Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo I.1 e I.2 .....	148
<b>5.45</b>	Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo II.1 e II.2 .....	148
<b>5.46</b>	Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo III.1 e III.2 .....	149
<b>5.47</b>	Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância para os painéis Tipo III.2 e IV .....	150
<b>5.48</b>	Conjunto para medição do tempo de reverberação – mini-câmara reverberante .....	151
<b>5.49</b>	Sistema de aquisição de dados ( <i>notebook</i> , “Pulse”, amplificador) .....	152
<b>5.50</b>	Fonte sonora da mini-câmara reverberante .....	153
<b>5.51</b>	Detalhe da fonte sonora, dos difusores e do suporte para o microfone no interior da mini-câmara reverberante .....	153
<b>5.52</b>	Vista frontal da mini-câmara reverberante com um visor de vidro .....	154
<b>5.53</b>	Amostras do painel de 130 kg/m <sup>3</sup> com 0,05 m e 0,1 m de espessura para o ensaio na mini-câmara reverberante .....	156
<b>5.54</b>	Amostras preparadas para o ensaio na mini-câmara .....	157
<b>5.55</b>	Anteparo refletor para proteção lateral das amostras .....	157
<b>5.56</b>	Amostra no anteparo refletor na mini-câmara .....	158
<b>5.57</b>	Amostras identificadas para o ensaio na mini-câmara reverberante ...	158
<b>5.58</b>	Amostras dos painéis de espuma escolhidos para o ensaio na mini-câmara .....	159
<b>5.59</b>	Posicionamento das amostras no interior da mini-câmara reverberante .....	159

<b>5.60</b>	Tempo de reverberação da mini-câmara sem amostras .....	160
<b>5.61</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara sem amostras .....	160
<b>5.62</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo I.1 .....	161
<b>5.63</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo I.2 .....	161
<b>5.64</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo II.1 .....	162
<b>5.65</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo II.2 .....	162
<b>5.66</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo III.1 .....	163
<b>5.67</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo III.2 .....	163
<b>5.68</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo IV .....	164
<b>5.69</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo IV x Dados do Fabricante .....	164
<b>5.70</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo V .....	165
<b>5.71</b>	Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo V x Dados do Fabricante .....	165
<b>5.72</b>	Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para todos os painéis analisados .....	167
<b>5.73</b>	Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo I .....	168
<b>5.74</b>	Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo II .....	168
<b>5.75</b>	Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo III .....	169
<b>5.76</b>	Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava na mini-câmara dos painéis Tipo III.2 e Tipo IV .....	170

<b>6.1</b>	Comparação dos coeficientes de absorção experimental e numérico para o painel Tipo IV .....	175
<b>6.2</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 370 Hz para o painel Tipo IV	175
<b>6.3</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 770 Hz para o painel Tipo IV	176
<b>6.4</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1170 Hz para o painel Tipo IV .....	176
<b>6.5</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1570 Hz para o painel Tipo IV .....	177
<b>6.6</b>	Comparação dos coeficientes de absorção experimental e numérico para o painel Tipo III.2 .....	178
<b>6.7</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 370 Hz para o painel Tipo III.2 .....	178
<b>6.8</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 770 Hz para o painel Tipo III.2 .....	179
<b>6.9</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1170 Hz para o painel Tipo III.2 .....	179
<b>6.10</b>	Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1570 Hz para o painel Tipo III.2 .....	180
<b>6.11</b>	Comparação dos coeficientes de absorção numéricos para os painéis Tipo III.2 e Tipo IV .....	181
<b>6.12</b>	Influência da variação da espessura no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2 .....	182
<b>6.13</b>	Influência da variação da porosidade no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2 .....	183
<b>6.14</b>	Influência da variação da resistividade ao fluxo no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2 .....	183
<b>6.15</b>	Influência da variação da tortuosidade no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2 .....	184
<b>7.1</b>	Auditório do LABEM – UFPA .....	187
<b>7.2</b>	Caminhos de reflexão de primeira ordem em salas retangulares .....	188
<b>7.3</b>	Fonte imagem de terceira ordem e caminhos das reflexões correspondentes .....	189
<b>7.4</b>	Traçado de um raio acústico da fonte ao volume receptor .....	189

<b>7.5</b>	Efeitos combinados de reflexão especular e difusa (espalhamento)	190
<b>7.6</b>	Desenho CAD do auditório do LABEM – UFPA .....	191
<b>7.7</b>	Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista isométrica) ..	192
<b>7.8</b>	Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista frontal) .....	192
<b>7.9</b>	Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista lateral) .....	193
<b>7.10</b>	Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista superior) .....	193
<b>7.11</b>	“Grid” utilizado no modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA	194
<b>7.12</b>	Equipamentos utilizados nos ensaios acústicos do auditório do LABEM – UFPA .....	196
<b>7.13</b>	Medição do $NPS(A)$ na região dos ouvidos da audiência .....	196
<b>7.14</b>	Auditório do LABEM – UFPA com audiência .....	196
<b>7.15</b>	Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA sem audiência (vazio) .....	197
<b>7.16</b>	Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA com audiência (30 pessoas) .....	198
<b>7.17</b>	$NPS(A)$ Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA sem Audiência (Vazio) .....	198
<b>7.18</b>	$NPS(A)$ Total experimental para o auditório do LABEM – UFPA sem audiência (vazio) .....	199
<b>7.19</b>	Estudo do caminho de projeção do som através do método da fonte-imagem especular .....	200
<b>7.20</b>	Posicionamento dos painéis acústicos no auditório LABEM – UFPA (vista lateral) .....	200
<b>7.21</b>	Posicionamento dos painéis acústicos no auditório LABEM – UFPA (vista isométrica) .....	201
<b>7.22</b>	Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA com audiência (30 pessoas) – influência dos painéis acústicos .....	201
<b>7.23</b>	$NPS(A)$ Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – sem painéis acústicos .....	202
<b>7.24</b>	$NPS(A)$ Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo III.2 (fibra de coco) .....	202
<b>7.25</b>	$NPS(A)$ Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo IV (espuma) .....	203

<b>7.26</b>	<i>STI</i> numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – sem painéis acústicos .....	203
<b>7.27</b>	<i>STI</i> numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo III.2 (fibra de coco) .....	204
<b>7.28</b>	<i>STI</i> numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo IV (espuma) .....	204

## LISTA DE TABELAS

1.1	Preços médios de alguns produtos fabricados a partir de fibras de coco .	33
2.1	Categorias de informação na fase de projeto informacional .....	44
2.2	Problema de pesquisa .....	58
4.1	Especificações gerais da fibra de coco .....	79
4.2	Resultados de <i>Regain</i> (%) .....	80
4.3	Resultados de Porosidade (%) .....	81
4.4	Resultados de Densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) .....	83
4.5	Resultados da tensão de ruptura para a fibra Tipo F1.1 .....	85
4.6	Resultados da tensão de ruptura para a fibra Tipo F1.2 .....	85
4.7	Valores médios da seção transversal, do diâmetro e da tensão de ruptura das amostras dos Tipos F1.1 e F1.2 .....	86
4.8	Resultado dos alongamentos máximos (%) e médios das fibras Tipo F1.1 e F1.2 .....	86
4.9	Densidades para os painéis Tipo I ( $18 \text{ kg/m}^3$ ) .....	88
4.10	Densidades para os painéis Tipo II ( $60 \text{ kg/m}^3$ ) .....	89
4.11	Densidades para os painéis Tipo III ( $130 \text{ kg/m}^3$ ) .....	89
4.12	Densidades médias de todos os painéis .....	89
4.13	Gramaturas para os painéis Tipo I ( $18 \text{ kg/m}^3$ ) .....	91
4.14	Gramaturas para os painéis Tipo II ( $60 \text{ kg/m}^3$ ) .....	91
4.15	Gramaturas para os painéis Tipo III ( $130 \text{ kg/m}^3$ ) .....	91
4.16	Gramaturas médias de todos os painéis .....	91
4.17	Velocidades de queima para os painéis Tipo I ( $18 \text{ kg/m}^3$ ) .....	94
4.18	Velocidades de queima para os painéis Tipo II ( $60 \text{ kg/m}^3$ ) .....	95
4.19	Velocidades de queima para os painéis Tipo III ( $130 \text{ kg/m}^3$ ) .....	95
4.20	Velocidades de queima médias de todos os painéis .....	95
4.21	Deflexão para os painéis Tipo I ( $18 \text{ kg/m}^3$ ) .....	98
4.22	Deflexão para os painéis Tipo II ( $60 \text{ kg/m}^3$ ) .....	98
4.23	Deflexão para os painéis Tipo III ( $130 \text{ kg/m}^3$ ) .....	98
4.24	Deflexões médias de todos os painéis .....	98
4.25	Porosidade para os painéis Tipo III.2 e IV .....	106
4.26	Porosidade para os painéis Tipo III.2 .....	107

<b>4.27</b>	Resistividade ao fluxo para os painéis Tipo III.2 e IV .....	110
<b>4.28</b>	Tortuosidade para os painéis Tipo III.2 e IV .....	114
<b>4.29</b>	Módulo de elasticidade dinâmico para os painéis Tipo III.2 e IV .....	117
<b>4.30</b>	Fator de perda para os painéis Tipo III.2 e IV .....	117
<b>5.1</b>	Características gerais dos painéis analisados .....	129
<b>5.2</b>	Espessuras dos painéis analisados nos tubos de impedância .....	145
<b>5.3</b>	Espessuras dos painéis analisados na mini-câmara .....	166
<b>7.1</b>	Informações do modelo numérico .....	194
<b>7.2</b>	Coefficientes de absorção adotados no modelo numérico .....	195



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AMA</b>	<i>American Marketing Association</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer-Aided Design</i>
<b>CVRD</b>	Companhia Vale do Rio Doce
<b>EBBB</b>	Empresa Brasileira de Big Bags
<b>EPI</b>	Equipamento de Proteção Individual
<b>FACEPA</b>	Fábrica de Celuloses e Papel da Amazônia S/A
<b>FEM</b>	Faculdade de Engenharia Mecânica
<b>FGV</b>	Fundação Getúlio Vargas
<b>GVA</b>	Grupo de Vibrações e Acústica
<b>IT</b>	Instituto de Tecnologia
<b>LABEM</b>	Laboratório de Engenharia Mecânica
<b>MEF</b>	Método de Elementos Finitos
<b>NPS</b>	Nível de Pressão Sonora
<b>POEMA</b>	Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia
<b>SPL</b>	<i>Sound Pressure Level</i>
<b>STI</b>	<i>Speech Transmission Index</i>
<b>UFPA</b>	Universidade Federal do Pará

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	– Amplitude da Onda Incidente
<b>A(%)</b>	– Alongamento da Fibra
<b>B</b>	– Amplitude da Onda Refletida
<b>c</b>	– Velocidade do Som no Fluido
<b><math>c_l</math></b>	– Velocidade de Propagação de uma Onda Longitudinal
<b>d</b>	– Diâmetro
<b>e</b>	– Espessura
<b>E</b>	– Módulo de Elasticidade (Parte Real)
<b><math>E^*</math></b>	– Módulo de Elasticidade Complexo
<b><math>f_{corte}</math></b>	– Freqüência de Corte
<b><math>f_m</math></b>	– Freqüência Máxima
<b><math>f_n</math></b>	– Freqüência Natural
<b>FOG</b>	– Fogging
<b>Fr</b>	– Força de Ruptura
<b>G</b>	– Gramatura
<b>k</b>	– Número de Onda
<b><math>K_n</math></b>	– Fator de Correção de Rayleigh para o n-ésimo Modo
<b>L</b>	– Comprimento
<b>Lf</b>	– Comprimento Final
<b>Li</b>	– Comprimento Inicial
<b>m</b>	– Massa
<b>mf</b>	– Massa Final
<b>ms</b>	– Massa “Seca” (Sem Umidade)
<b>n</b>	– Ordem da Ressonância
<b>p</b>	– Pressão no Fluido
<b>P(%)</b>	– Porosidade
<b>Q</b>	– Vazão
<b>Qm</b>	– Módulo de Compressibilidade do Fluido
<b>R</b>	– Resistividade ao Fluxo
<b>R(%)</b>	– <i>Regain</i>
<b>S</b>	– Área da Seção Transversal

<b>s</b>	– Espaçamento entre Microfones
<b>t</b>	– Tempo
<b>To</b>	– Tortuosidade
<b>u</b>	– Deslocamento da Carcaça do Material
<b>U</b>	– Deslocamento do Fluido
<b>V</b>	– Volume
<b>V<sub>a</sub></b>	– Volume Total da Amostra
<b>V<sub>f</sub></b>	– Volume da Parte Fluida
<b>V<sub>s</sub></b>	– Volume da Parte Sólida
<b>Z</b>	– Impedância Acústica Normal de Superfície
<b>a</b>	– Coeficiente de Absorção
<b>a<sub>Biot</sub></b>	– Fator de Biot
<b>h</b>	– Fator de Perda
<b>l</b>	– Comprimento de Onda
<b>μ</b>	– Densidade
<b>n</b>	– Coeficiente de Poisson
<b>r</b>	– Densidade do Fluido
<b>r<sub>m</sub></b>	– Densidade do Material
<b>S</b>	– Tensão de Ruptura
<b>S<sub>a</sub></b>	– Resistividade Elétrica da Amostra Saturada com o Fluido
<b>S<sub>f</sub></b>	– Resistividade Elétrica do Fluido
<b>?</b>	– Porosidade

Dados Internacionais de Catalogação – na – Publicação (CIP), Biblioteca do  
Mestrado em Engenharia Mecânica, Belém, PA.

---

VIEIRA, Rodrigo José de Andrade

Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos / Rodrigo José de Andrade Vieira; Orientador Newton Sure Soeiro. – 2008.

262p.

1. Acústica – engenharia. 2. Controle acústico. 3. Painéis de absorção sonora.  
I. Soeiro, Newton, orientador. II. Título

CDD 19. ed. 620.23

---

---

# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No Brasil, a acústica, quer como ciência quer como tecnologia, é um dos ramos de conhecimento que se encontra pouco desenvolvido, devido serem raras as universidades que oferecem cursos nesta área, bem como raros serem os laboratórios que contam com instalações adequadas ao desenvolvimento de estudos experimentais e/ou numéricos. Por outro lado, os ambientes internos de edificações devem satisfazer condições acústicas de acordo com os seus objetivos. Por exemplo, igrejas, auditórios, salas de aula, etc., devem ter inteligibilidade máxima; fábricas e oficinas devem ter níveis de pressão sonora abaixo do limite permitido para oito horas diárias, ou seja, 85 dBA; teatros, estúdios de gravação, TV e rádio, também devem ter características acústicas adequadas.

No estudo do campo sonoro de ambientes fechados devem-se considerar variáveis complexas, tais como: forma geométrica do ambiente, absorção acústica, reflexões e difrações das diversas paredes e elementos internos, fontes sonoras, efeitos das aberturas, entre outros. Assim, a qualidade acústica de ambientes está relacionada a fenômenos de reflexão, absorção e transmissão do som.

O controle acústico de ambientes é muito importante, pois o som assim como pode acalmar uma pessoa e até aumentar a produtividade de uma empresa, pode também deixá-la irritada e com problemas de saúde, já que o som exerce influências tanto fisiológicas como psicológicas. Assim, sempre que possível, aconselha-se o controle de ruído como forma de minimizarem-se estes efeitos e como forma de melhorar a qualidade acústica de ambientes e/ou produtos (veículos, aeronaves, aspirador de pó etc.).

Uma boa alternativa para o controle de ruído em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto em materiais fibrosos. Estes materiais de absorção sonora podem ser usados para revestimento interno das paredes dos ambientes, de

---

modo que seja garantido um campo de pressão acústica tal que favoreça o conforto acústico do ambiente.

Os materiais de alta absorção acústica são normalmente porosos e/ou fibrosos. Nos materiais porosos a energia acústica incidente entra pelos poros e dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-se em energia térmica. Por outro lado, nos materiais fibrosos a energia acústica incidente entra pelos interstícios das fibras, fazendo-as vibrar junto com o ar, dissipando-se assim por transformação em energia térmica por atrito entre as fibras excitadas.

A característica de absorção acústica de um material é determinada pelo coeficiente de absorção sonora que depende principalmente da frequência, ângulo de incidência do som, tipo de campo sonoro, densidade, espessura e estrutura interna do material.

Em termos práticos, a escolha de um material de absorção acústica, além dos coeficientes de absorção e da frequência do ruído, depende também de: custo, características em altas temperaturas, peso e volume em relação ao espaço disponível, rigidez mecânica, fixação e manutenção, aparência e pintura, etc.

A Amazônia, devido a sua grande extensão territorial abriga uma flora com diversas espécies vegetais. Assim, dela são retirados milhares de produtos e sub-produtos naturais. Alguns desses produtos não são totalmente aproveitados e, por isso, seus resíduos acabam chegando a outros setores industriais, como é o caso da fibra de coco que serve até como estofamento para banco de automóveis.

Por outro lado, a região amazônica é muito carente em estudos e pesquisas na área de acústica. Daí a idéia de se utilizar a fibra de coco para a confecção de painéis acústicos, de modo a se aproveitarem as características dos dois mecanismos de absorção sonora possíveis em materiais resistivos, ou seja, as dos materiais porosos e fibrosos.

Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa financiado pelo Governo do Estado do Pará e que teve como uma de suas metas o aparelhamento da UFPA-IT-FEM-GVA para permitir o desenvolvimento de estudos numéricos e experimentais na área de acústica e, principalmente, inferir a possibilidade de se construírem painéis de fibras de coco com propriedades acústicas compatíveis com aquelas apresentadas pelos materiais já usados comercialmente.

Um projeto em engenharia usualmente consome cerca de 5% do custo total de um produto, porém, é na fase de projeto onde são comprometidos

aproximadamente 80% deste custo. Desta forma, a predição do comportamento acústico e da performance dos materiais utilizados em painéis acústicos torna-se uma informação de grande importância nos projetos, mas de difícil obtenção. Ela envolve a modelagem da interação entre fluido e estrutura no material, bem como de suas propriedades físicas, tais como porosidade, resistividade ao fluxo e fator estrutural. Devido à crescente necessidade de predição do comportamento dos materiais acústicos, aliada à eficiência e rapidez no desenvolvimento de novos produtos, a simulação numérica tornou-se uma ferramenta importante no estudo de sistemas para controle de ruído e vibrações.

Com o avanço tecnológico e a disponibilidade de computadores e equipamentos cada vez mais potentes, surgiu uma série de técnicas computacionais que permitem a modelagem de fenômenos de engenharia e a predição de seus comportamentos. Os materiais porosos, por exemplo, que antes eram modelados a partir de relações empíricas baseadas em propriedades microscópicas de difícil obtenção e que, mesmo assim, eram limitadas a algumas configurações básicas, hoje podem ser analisados a partir de softwares de simulação numérica que utilizam modelos mais completos e métodos numéricos sofisticados, tais como o método dos elementos finitos (MEF). Nas simulações numéricas, costuma-se avaliar o comportamento acústico dos materiais porosos através de alguns parâmetros, tais como coeficiente de absorção, impedância de superfície, perda de transmissão etc. Estes resultados numéricos devem ser comparados com resultados experimentais, para que as diferenças sejam analisadas e os modelos matemáticos sejam representativos do modelo real.

Com o desenvolvimento dos painéis será possível criar novos setores na economia do estado, o que trará novos empregos e facilitará a compra e utilização desta tecnologia, visto que os painéis fabricados e vendidos no sul do país têm um alto custo. Finalmente, uma outra vantagem significativa é a da utilização destes painéis dentro de um contexto de harmonia das linhas arquitetônicas com características regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

## **1.2 – O “COCO”**

A fibra do coco, a popular "bucha" desprezada como lixo por muitos produtores e compradores do fruto, pode ser muito valiosa e trazer uma nova opção

---

de mercado para a economia do país. Embora ainda não seja comprovado, o coco foi introduzido no Brasil pelos portugueses no século XVI (Revista POEMATEC, 2003). O coco, fruto do coqueiro, originário da Índia Ocidental, é considerado um fruto grande, com uma camada externa grossa e fibrosa, tendo no meio uma "noz" que constitui o coco propriamente dito. Essa "noz" tem forma ovulada, com uma das pontas mais dura e pontiaguda. A casca marrom e dura cobre uma camada interna, branca e macia, com cerca de 2 cm de espessura, chamada polpa. Dentro desta última camada há um líquido esbranquiçado conhecido como a "água de coco". O coqueiro e seus frutos estão presentes em mais de 80 (oitenta) países ao redor do globo - na Indonésia, no Pacífico, na África, na América Central e do Sul e no Caribe, tendo grande importância na vida e na economia de várias populações regionais. Ele se adaptou bem na praia, perto do mar e do sal, embora esta não seja uma condição necessária para que seja cultivado com sucesso.

Basicamente, existem dois tipos de coqueiro, que se diferenciam principalmente pelas características dos seus frutos. Um produz o "Coco Gigante" utilizado normalmente para fabricação de seus principais derivados utilizados na culinária e na indústria alimentícia, como por exemplo, o "leite de coco". O outro tipo de coqueiro produz o "Coco Verde" de onde é extraída a "água de coco". O Coco Verde é hoje consumido no Brasil em grande escala e os resíduos desse consumo são espalhados pelas cidades. Recentemente, foram criadas novas alternativas para redução deste lixo, que buscam uma maior utilização da fibra de coco para fabricação de novos produtos com diversas finalidades.

Os produtos a base de fibras de coco são confeccionados por produtores de pequeno e grande porte. Dentre eles, podem-se destacar artesões propriamente ditos, arquitetos, jardineiros, agricultores, avicultores e a indústria em geral.

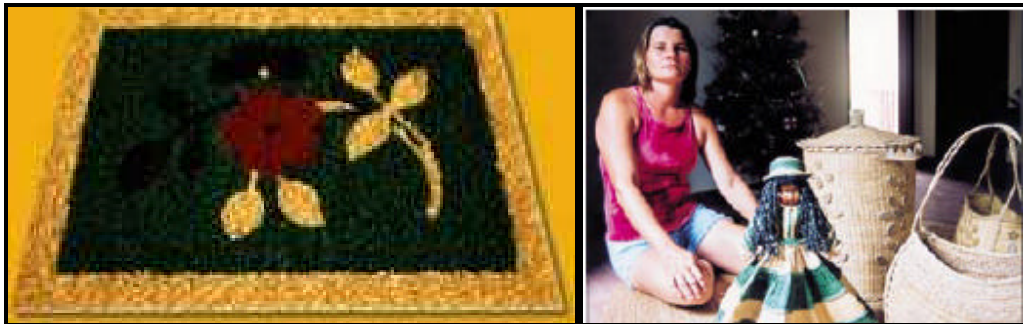
A maioria dos produtos confeccionados a partir das fibras de coco vem dos pequenos produtores. Esses produtores se encarregam de beneficiar as fibras da sua própria maneira, normalmente de forma artesanal (Ver Fig. 1.1), e de acordo com suas necessidades, criatividade e infra-estrutura disponível.





**Figura 1.1 – Processo artesanal de beneficiamento da fibra de coco.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**

Os artesões são responsáveis pela fabricação de capachos, tapetes, toalhas de mesa, vasos, abajur, redes, vestidos, sapatos, bolsas, bonecos, esteiras etc., sendo que a maioria desses produtos é produzida em pequenas escalas (Ver Figuras 1.2, 1.3 e 1.4).



**Figura 1.2 – Tapete, boneco e cestas de fibra de coco.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**



**Figura 1.3 – Vasos e abajur de fibra de coco.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**



**Figura 1.4 – Vestidos, bolsas e sapatos de fibra de coco.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**

Os Arquitetos usam a fibra de coco na decoração de ambientes em geral e na jardinagem a fibra de coco vem substituindo o “xaxim” que está em extinção, desempenhando assim um importante papel no controle ambiental (Ver Fig. 1.5).



**Figura 1.5 – Uso da fibra de coco para decoração de ambientes e para jardinagem.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**

Na agricultura essas fibras são usadas como substratos para o plantio, drenagem e controle de erosões do solo. Já foi comprovado através de vários estudos que a fibra de coco em pó é um excelente adubo para plantações e também foi utilizada com grande sucesso no controle de erosões através da aplicação de mantas (Fig. 1.6) sob o solo, em pesquisas desenvolvidas pelo exército brasileiro.



**Figura 1.6 – Utilização e aplicação de mantas de fibra de coco para o controle de erosão.  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)**

Nas indústrias, a fibra de coco é usada na fabricação de móveis, enceradeiras, colchões, broxas, escovas, vassouras, bancos e acessórios automotivos, etc (Ver Fig. 1.7). Pode-se destacar a Indústria POEMATEC Fibras Naturais da Amazônia Ltda localizada na cidade de Ananindeua no estado do Pará, juntamente com suas cooperativas localizadas no Interior do Estado (Castanhal, Soure, Ponta-de-Pedras, etc.), a Indústria Coco Verde localizada na cidade do Rio de Janeiro e a Indústria FIBRATEK localizada na cidade de Paratibe.



**Figura 1.7 – Uso da fibra de coco na indústria.**  
(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)

De uma forma geral, a maioria dos produtos e sub-produtos oriundos das fibras de coco são disponibilizados ao mercado diretamente do próprio produtor, sendo o restante fornecido em fios ou em painéis (produtos semi-acabados).

O valor de mercado desses produtos varia muito, visto que são consideradas a quantidade de fibra consumida e a complexidade de fabricação do produto. Na Tab. 1.1 apresenta-se uma média dos preços de alguns desses produtos obtidos a partir de uma pesquisa de mercado realizada durante o desenvolvimento deste trabalho.

**Tabela 1.1 – Preços médios de alguns produtos fabricados a partir de fibras de coco.**  
(Continua)

<b>Produto</b>	<b>Und.</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Capacho 0,60 x 1,20 m	und.	33,50
Colchão 0,90 x 1,90 m (Completo)	und.	125,00
Corda Ø 2,5 cm	kg	0,78
Vaso Ø 0,40 x 0,20 m	und.	27,00

**Tabela 1.1 – Preços médios de alguns produtos fabricados a partir de fibras de coco.  
(Conclusão)**

<b>Produto</b>	<b>Und.</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cestos Ø 0,60 x 0,30 m	und.	58,90
Luminária Ø 0,15 x 0,50 m	und.	56,00
Placa p/ Jardinagem 0,20 x 0,40x 0,04 m	und.	3,50
Placa p/ Jardinagem 0,40 x 0,40 x 0,04 m	und.	7,00
Placa p/ Jardinagem 0,80 x 0,40 x 0,04 m	und.	14,00
Substrato Fibroso c/ 35 sacos de 3 l	und.	20,75
Fibra para Ninho de Pássaros c/ 35 sacos de 150 g	und.	21,75
Fibra Bruta	kg	0,71

(Fonte: Revista POEMATEC, 2003)

Não existe nenhuma dúvida da grande importância que a fibra de coco tem para a economia e para a sociedade em geral, contribuindo com a preservação do meio ambiente, criando novas oportunidades de trabalho para as pessoas e melhorando a qualidade de vida com o desenvolvimento de novas tecnologias.

### **1.3 – OBJETIVOS DO TRABALHO**

Para essa dissertação de mestrado, foram delineados os seguintes objetivos gerais:

- i. Definição e descrição de um processo de fabricação de painéis acústicos, a partir da fibra de coco;
- ii. Determinação dos principais parâmetros acústicos relacionados aos painéis de fibra de coco em baixas e médias frequências para controle acústico de recintos;
- iii. Desenvolvimento de um modelo numérico para estabelecimento de parâmetros de controle de qualidade e custo, que auxiliem no desenvolvimento e na fabricação de novos painéis;

Quanto aos objetivos específicos espera-se que esta dissertação seja capaz de:

- i. Possibilitar a montagem de infra-estrutura capaz de permitir o desenvolvimento de estudos numérico e experimental na área de acústica;

ii. Proporcionar maior aproximação e integração entre diferentes áreas de conhecimento das engenharias (Produção, Materiais, Processos, Mecânica dos Sólidos, Energia, Vibrações e Acústica);

iii. Estreitar o relacionamento Universidade/Setor Produtivo.

#### **1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO**

Nesta dissertação serão utilizadas para o desenvolvimento dos painéis acústicos, metodologias de desenvolvimento de produto, que visam dar maior agilidade ao fluxo de informações e desenvolver o projeto de forma conjunta, ou seja, todas as áreas técnicas envolvidas (equipe multifuncional) participam de todas as etapas, diminuindo assim a possibilidade de que em etapas futuras a dissertação tenha que retroceder, devido a incompatibilidades produtivas, tecnológicas, geométricas, quanto ao transporte, quanto ao armazenamento e estocagem, quanto à reciclagem etc., enfim quaisquer incompatibilidades referentes à construção e ao uso dos painéis.

A descrição das etapas do trabalho, seu desenvolvimento teórico e experimental, conclusões e recomendações são organizadas e apresentadas num total de oito capítulos.

No Capítulo 2 são coletadas informações necessárias para iniciar o processo de desenvolvimento dos painéis acústicos confeccionados a partir de fibras de coco. Para isso, é apresentada uma metodologia de desenvolvimento de produto com base no “projeto informacional” e alguns conhecimentos básicos para a realização de um estudo de mercado. Tais informações serão obtidas junto a indústrias da região, profissionais da área de engenharia civil e arquitetura, e Estúdios de Gravação, com o objetivo de definir as principais características geométricas, relacionadas ao padrão arquitetônico regional, e acústicas, que estão relacionadas aos materiais acústicos absorventes, necessários para o controle da qualidade do som em ambientes fechados e/ou abertos.

No Capítulo 3 encontram-se descritas todas as etapas do processo de fabricação do painel de fibra de coco, observando-se desde a coleta e obtenção do fruto até o final do processo industrial, destacando-se as possíveis e necessárias adaptações que deverão ser feitas.

No Capítulo 4 descrevem-se algumas configurações de painéis de fibra de coco com o objetivo de levantar suas principais propriedades físico-químicas e mecânicas, relacionadas com os objetivos deste trabalho, fazendo-se uma descrição sucinta das bancadas de testes desenvolvidas e dos procedimentos experimentais adotados. Foram analisadas também algumas variedades de fibras de coco brutas devido à possibilidade de utilização de tipos de fibras que hoje são pouco explorados, mas que existem em maior abundância e com menor custo.

O Capítulo 5 trata especificamente dos processos de determinação do coeficiente de absorção, já que a eficiência de um tratamento acústico com materiais porosos e fibrosos é geralmente avaliada pelo seu coeficiente de absorção. Este parâmetro pode ser medido diretamente em uma câmara reverberante ou calculado utilizando-se um tubo de impedância. Na câmara reverberante, pode-se medir o coeficiente de absorção para incidência aleatória, que considera ondas sonoras incidindo de todas as direções, e no tubo de impedância, onde considera-se a propagação somente de ondas planas, sendo então a impedância normal de superfície e o coeficiente de absorção para incidência normal calculados com pequenas amostras do material absorvedor.

No Capítulo 6 a simulação numérica foi utilizada para a análise e predição do comportamento de materiais com características porosas, no caso um painel de fibra de coco e um painel de espuma disponível no mercado, sendo que primeiramente descreve-se brevemente o software utilizado para as simulações e suas limitações, analisando-se em seguida os resultados obtidos em comparação com os resultados experimentais anteriormente obtidos. Destaca-se também a simulação numérica como ferramenta de projeto, que já se tornou parte da rotina de desenvolvimento de produtos, principalmente pela fácil aplicabilidade e entendimento do comportamento acústico destes materiais em função de suas principais características físicas, químicas, mecânicas e geométricas, além do baixo custo de utilização quando comparada aos ensaios experimentais.

No Capítulo 7 será analisada numericamente a influência da colocação dos Painéis de Fibra de Coco no interior de uma sala destinada à fala (Auditório do LABEM – UFPA) nos parâmetros acústicos (tempo de reverberação, decaimento da pressão sonora e inteligibilidade). Inicialmente, realiza-se a validação do modelo numérico, desenvolvido no software ODEON, da sala em questão, através de dados experimentais obtidos de ensaios acústicos realizados no referido auditório. Por fim,

comparam-se os resultados obtidos com o painel de fibra de coco e com o painel de espuma comercial, de forma que possam ser atestadas a viabilidade técnica e a eficiência no controle acústico do painel de fibra de coco ora desenvolvido.

As conclusões e sugestões para continuação deste trabalho de pesquisa, no que diz respeito ao desenvolvimento de painéis acústicos e à possibilidade de patenteamento por parte da UFPA dos resultados alcançados, são apresentadas no Capítulo 8.

Finalmente, no item de Referências Bibliográficas são listadas as obras consultadas que deram sustentação ao desenvolvimento deste trabalho.

---

## **2 – LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES E DADOS DE CAMPO**

### **2.1 – INTRODUÇÃO**

Neste capítulo são coletadas informações necessárias para iniciar o processo de desenvolvimento dos painéis acústicos, confeccionados a partir de fibras de coco. Para isso, é apresentada uma metodologia de desenvolvimento de produto com base no “projeto informacional” e alguns conhecimentos básicos para a realização de um estudo de mercado.

Os entrevistados (profissionais da área de engenharia civil e arquitetura, as indústrias, e os estúdios de música) foram selecionados a partir de uma análise do ciclo de vida deste tipo de produto e foram submetidos à aplicação de questionários em entrevista pessoal, que também tinham o objetivo de definir as principais características físicas e geométricas (relacionadas ao padrão arquitetônico regional), e acústicas, necessárias para o controle da qualidade do som em ambientes, além do levantamento dos principais problemas relacionados ao uso dos mesmos. Estes questionários também buscaram promover um conhecimento do perfil dos possíveis usuários dos painéis acústicos, além de suas necessidades e expectativas. Durante algumas entrevistas foi possível, através de visitas técnicas, conhecer de perto os problemas vivenciados pelos clientes em potencial, quanto ao controle acústico de recintos.

### **2.2 – METODOLOGIA ADOTADA**

Antes de iniciar a análise da problemática em torno da pesquisa proposta, é necessário estabelecer uma atualização do publicado pela literatura especializada, sobre o tema específico que será tratado. O estudo da teoria e metodologia de projetos ganhou ênfase nas últimas duas décadas (EVBOUMWAN, 1996), mas o tema “projeto” é ainda uma especialidade pouco conhecida, se comparada com outras áreas próprias do trabalho tecnológico.

Com o objetivo de reduzir os riscos de desenvolvimento de um novo produto, no caso o painel acústico de fibra de coco, que não tenha uma boa



---

aceitação pelos seus possíveis usuários e/ou de não atender a especificações construtivas e operacionais necessárias para sua utilização, é descrita uma metodologia de desenvolvimento de produtos proposta por FONSECA (2000), que tem sua essência fundamentada na elaboração do Projeto Informacional antes do Projeto Conceitual, baseado no Ciclo de Vida do produto. Entretanto, o presente trabalho, que não tem como objetivo desenvolver o Projeto Informacional para os painéis estudados de fibra de coco, ficará restrito à identificação das necessidades de projeto (etapa inicial do Projeto Informacional). Como, infelizmente, o tema ainda é pouco discutido na maioria das escolas de engenharia, torna-se necessário primeiramente o esclarecimento de alguns conceitos e a definição do Projeto Informacional propriamente dito com todas as suas fases.

Com a finalidade de definir as categorias de informação relevantes da fase inicial do projeto informacional, abordar-se-ão os conceitos que conformarão a coluna principal deste capítulo, relacionados com as Necessidades do Produto. Neste sentido, é importante destacar a importância das necessidades como fator fundamental para a abordagem do processo de projeto na sua fase inicial; as mesmas se constituem, segundo o consenso da maioria dos pesquisadores que tratam o tema, na matéria prima principal usada para a obtenção das especificações de projeto.

Visando o exposto acima, o estudo das necessidades será abordado nas suas conotações mais amplas, como motor impulsor dos desejos de clientes e usuários. Por esta razão, o tema “necessidades” será aprofundado, enfocando os aspectos que mais interessam aos projetistas: por um lado, as necessidades relacionadas à conduta das pessoas, como as necessidades de afeto, estima, e suas conseqüências; e por outro lado, as necessidades que nascem no indivíduo imerso no mundo material dos objetos, como as necessidade de usar produtos na moda, usar elementos ornamentais, etc.

"As necessidades humanas constituem o motivo principal subjacente ao comportamento" (MURRAY, 1973); segundo este autor, o comportamento está guiado pelas motivações como mecanismo dependente das necessidades. A motivação está determinada, segundo esta teoria, pelo binômio necessidade-pressão, onde a necessidade nasce do indivíduo junto a seus motivos internos, tentando transformar uma situação insatisfatória; enquanto que as pressões incluem o ambiente externo, impulsor da conduta.

---

O modelo da pirâmide de MASLOW (1954), tem como fundamento a teoria da motivação como "terceira força", que estabelece as necessidades divididas em duas grandes famílias: as necessidades básicas e as meta-necessidades. As primeiras são as exigências vitais do homem para sua subsistência, enquanto que as meta-necessidades se baseiam no desejo de crescimento do indivíduo.

Existe outra teoria surgida com a obra de MC. CLELLAND (1986) que classifica as necessidades em quatro tipos diferenciados: de realização, de afiliação, de autonomia e de poder. Esta teoria é conhecida como teoria da "necessidade de sucesso", em referência à necessidade de todas as pessoas de obterem sucesso em seu desempenho como pessoa.

Em ADLER (1931) é indicado que a necessidade de poder é a principal meta a ser alcançada em toda a atividade humana, centrando no poder o eixo das motivações de todos os indivíduos. Mediante esta suposição, denominada "teoria de sucesso", todas as pessoas possuem em maior ou menor grau, os quatro tipos de necessidades, sendo avaliados os distintos tipos de personalidades individuais segundo o tipo de necessidade predominante.

Embora as necessidades humanas que condicionam a conduta sejam importantes, os fatores que ligam as necessidades aos produtos industriais será o objeto principal da atenção.

As necessidades não somente obedecem ao caráter interno de cada indivíduo e sua personalidade, outros fatores interferem e contribuem para o seu surgimento, como o ambiente que desempenha um papel importante, constituindo ponto chave de interesse para os projetistas de produtos, nos seus objetivos de projetar objetos orientados à preferência dos consumidores. Embora todo projeto se inicie com a detecção das necessidades, existe um processo inverso de manipulação das mesmas, atuando sobre o mecanismo interno do ser humano que gera o desejo de consumo e, assim, sobre as necessidades supostamente reais, dos consumidores potenciais.

Segundo RODRIGUEZ (1989), as necessidades têm componentes nos quais influem aspectos psicológicos, ideológicos, e de origem social, que originam conseqüências psicossociais. "Há uma estreita relação entre necessidade e objeto satisfatório, sendo este um dos fatores que determina que os objetos tenham um valor de troca". Desta relação, vem a dependência mútua entre necessidade e

---

objeto-produto, sendo esta relação o tema que mais interessa ao projetista de produtos.

Do ponto de vista social e numa sociedade como a atual "o indivíduo começa a valer pelo que possui e não pelo que é" (FROMM, 1978). Segundo este autor, a indústria propicia um processo acelerado de desenvolvimento de produtos, visando mais a realização do capital investido do que a real satisfação das necessidades: "se as necessidades autênticas dos indivíduos não são o fim real da produção, então aquelas podem aumentar indefinidamente, pois não há nada que detenha sua multiplicação"; este fenômeno foi denominado como "sociedade de consumo", dentro da qual, um dos elementos-chave é o projetista, responsabilizado pela contínua geração de novos produtos e, com eles, novas necessidades, em muitos casos, artificiais. "No universo das mercadorias, qualquer objeto, cujo valor de uso não representa um valor de troca, deixa de ser objeto da produção... a noção que as necessidades são fixadas pela produção nos faz pensar nas necessidades como função induzida" (RODRIGUEZ, 1989). O fato de que os projetistas estudem detidamente o tema das necessidades para tratar de penetrar a psique do usuário, dá uma idéia de quão induzido pode resultar no consumidor, o desejo de comprar um novo produto; "estas necessidades têm um conteúdo e uma função social, determinada por poderes exteriores e sobre os quais, o indivíduo não possui nenhum tipo de controle" (MARCUSE, 1968). Do ponto de vista ideológico, BUARDILLARD (1973) supõe que os produtos passam por uma série de estados em seqüência:

- lógica do valor de uso, sendo a etapa função-operativa;
- lógica do valor de troca, sendo o estado econômico-comercial;
- lógica da troca simbólica, sendo a diferenciação social;
- lógica do signo ou sinal, sendo o apelo ao prestígio e ao apetite do consumo.

Este aspecto é muito importante para a especialidade de projeto de produtos, pois, conforme RODRIGUEZ (1989), quando o objeto não está ligado, nem a seu caráter utilitário (função), nem como mercadoria (mercado), nem como símbolo (função psicológica) e encontra seu destino na lógica da diferenciação, aparece o fator "moda" como fenômeno que dirige a preferência do consumidor. Segundo este mesmo autor, para o usuário, os objetos satisfazem duas necessidades: a de utilizá-lo (função) e a de possuí-lo (consumo); "a relação original

---

entre necessidade e satisfação, impulso e sociedade, se inverteu significativamente" (SELLE, 1973).

Os projetistas, sobretudo os desenhistas industriais ou "designers", têm uma qualificação excelente para operar as formas que mais potencializam o "consumismo" nos produtos de uso cotidiano mediante várias técnicas, como aquela que é conhecida com o nome de modelo-série. De acordo com esta técnica, existe um modelo ideal de produto, criado artificialmente na mente dos consumidores, que é parcialmente reproduzido nos produtos em série que se fabricam, gerando um desejo de consumo insatisfeito, pelo fato de que nunca a série chega a ser o modelo idealizado, tornando interminável a ânsia de consumo.

As conseqüências psicossociais destas necessidades são evidentes, pois a teoria psicanalista estabelece o prazer como a motivação principal da conduta do ser humano. Satisfazer as necessidades mediante mecanismos de manipulação das mesmas, dá origem ao "desejo de comprar", um dos grandes pilares que tem sustentado a "sociedade de consumo" atual. Segundo RODRIGUEZ (1989), os estímulos que são utilizados para propiciar o consumo são: por ser o objeto um símbolo de posição, comprando-o, compra-se um pedaço do ego; comprar é a oportunidade de "fechar um bom negócio", o que por sua vez gera certa satisfação; comprando, geram-se novos estímulos; e trocar o caráter social da acumulação pelo caráter mercantil de comprar, sendo que esta troca não elimina a orientação de ter, mas a modifica consideravelmente.

Aquele mesmo autor faz notar que: "em grande número de casos, o valor de uso se converte numa chamada para o valor de troca. Desta situação surge uma tendência que obriga a forma das mercadorias a estar sujeita a modificações; desta maneira a aparência adquire uma importância desmensurada no ato da compra". É por esta razão que nos produtos que serão destinados ao uso direto do homem, torna-se tão importante o aspecto estético-formal.

O anterior implica na necessidade de dominar, por parte dos projetistas, as técnicas que oferecem os melhores resultados para o sucesso de seu trabalho; no entanto, o sucesso dos produtos no mercado não deve ser devido ao fato de aparentar ter mais do que na realidade o produto tem, de conformidade com o denominado projeto "honesto ou ético" (SELLE, 1973).

Por outro lado, a informação, contida nas necessidades de consumidores e usuários, possui uma forte carga subjetiva, como pode extrair-se de

---

tudo o que foi dito antes, podendo ser manipulada facilmente. O papel do projetista será, então, o de transformar toda esta carga inicial, num produto físico tangível, passando através das várias etapas sucessivas de transformações. Partindo da fase inicial de coleta das necessidades originais, deve existir um mecanismo que as traduza numa linguagem mais acessível aos projetistas; estas são as especificações de projeto.

Embora o conceito de necessidade seja de importância extrema para a primeira fase do projeto, uma definição simples é difícil, como foi amplamente analisado nos parágrafos anteriores. As necessidades, para os objetivos do trabalho de projeto, serão consideradas como:

“Aquelas expressões espontâneas dos usuários potenciais dos produtos, ou das distintas categorias de clientes, relacionadas com o projeto ou com o produto” (FONSECA, 2000).

A necessidade, como expressão espontânea (na forma de desejos) dos clientes internos, externos e intermediários, implica num conceito amplo, que vai desde expressões confusas e ambíguas, até frases diretas, com fundamento técnico específico.

Outro conceito importante a ser destacado é o de “Requisito”. Um requisito é, segundo o dicionário AURÉLIO (BUARQUE, 1996): *Requisito: condição necessária para a obtenção de um objetivo, ou para o preenchimento de certo fim.*

Para a fase sob análise, o “requisito” será a condição para a satisfação de um ou mais objetivos de projeto. Na presente proposta, o requisito sempre estará associado a um substantivo; se ele satisfaz às necessidades, será denominado requisito de usuário; se for uma característica física do produto visando à solução de projeto, será denominado requisito de projeto.

O requisito de usuário é aquela primeira tradução das necessidades brutas obtidas dos diferentes tipos de clientes ou usuários, em uma linguagem compreensível para os projetistas e produtores. Já os requisitos de projeto são aquelas características técnico-físicas mensuráveis, que o produto deve ter para satisfazer aos requisitos de usuário anteriores.

Os requisitos de usuário terão que ser convertidos em requisitos de projeto, vinculando os desejos e necessidades de clientes e usuários às características técnicas, formais, de funcionamento, de uso, entre outras, do produto que vai ser projetado. Os requisitos de projeto devem ser expressões curtas das

características físicas que possam ser adequadamente mensuradas. Um requisito de usuário tem de gerar, ao menos, um requisito de projeto, dependendo do trabalho em execução.

Existem também as “Especificações”, que segundo o dicionário AURÉLIO (BUARQUE, 1996) significa “ato de especificar; discriminação”. Será usado o termo “especificação de projeto” no sentido de especificar ou discriminar o que vai ser projetado durante o processo que se inicia.

Outras literaturas existentes sobre o tema designam indistintamente o termo definido como especificações de projeto (FONSECA, 2000), substituindo-o pelo termo “requisitos de projeto”, “lista de requisitos”, “requisitos técnicos” ou simplesmente “requisitos”. Na realidade, estas denominações designam o resultado final da fase de início do projeto, tentando um direcionamento, na forma de bases, que oriente os projetistas na execução do projeto. As especificações de projeto são informações básicas para fases posteriores do processo, mas que devem ser previamente trabalhadas partindo de informações iniciais brutas.

Na Tab. 2.1, tem-se em resumo as categorias de informação relevantes a serem levadas em conta durante o Projeto Informacional (FONSECA, 2000).

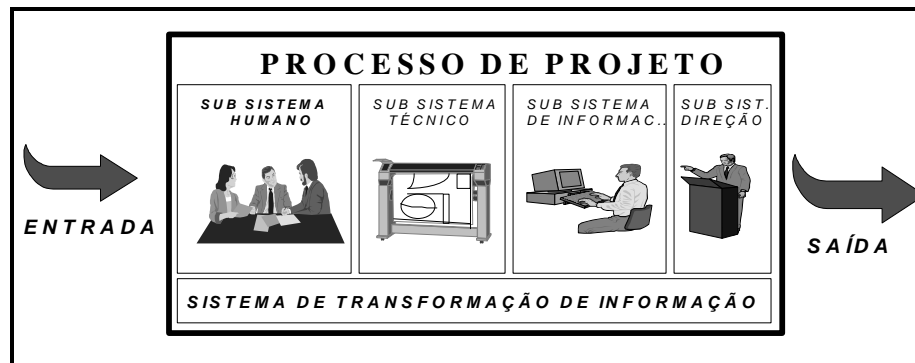
**Tabela 2.1 – Categorias de informação na fase de projeto informacional.**

<b>Categoria de Informação</b>	<b>Significado</b>
<b>Necessidade</b>	Declaração direta de usuário ou clientes
<b>Requisito de Usuário</b>	Necessidade levada à linguagem de projeto
<b>Requisito de Projeto</b>	Requisito mensurável aceito para o projeto
<b>Especificação de Projeto</b>	Requisito de Projeto convenientemente especificado

(Fonte: FONSECA, 2000)

O projeto é considerado como um sistema que transforma informações (BACK, 1983), incrementando a qualidade da informação de entrada, na medida que são efetuados os trabalhos durante o processo de projeto, tornando-a uma informação mais valiosa e processada durante as ações de projeto. HUBKA (1988)

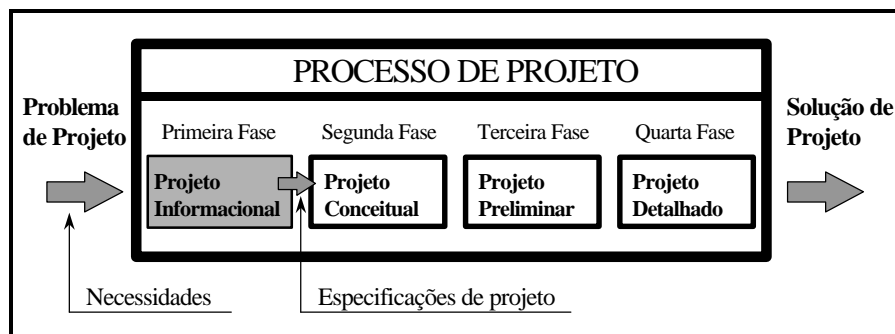
esquematiza a transformação de informações, através de quatro sub-sistemas trabalhando conjuntamente, segundo o esquema mostrado na Fig. 2.1.



**Figura 2.1 – Processo de projeto como transformação de informações.**  
(Fonte: FONSECA, 2000)

O projeto se inicia com um problema de projeto que implica num grupo de necessidades (estabelecidas ou não explicitamente no dito problema); a equipe de projeto inicia então, o processo de levantamento de outras necessidades envolvidas no problema sob análise, visando detectar todas as necessidades associadas ao produto sob análise.

O projeto informacional é executado para transformar a informação de entrada em especificações de projeto. Estas especificações se constituirão no guia dos trabalhos nas fases posteriores do processo de projeto, razão pela qual a sua obtenção implica numa responsabilidade para o sucesso do projeto no seu conjunto. O Projeto Informacional, inserido no processo geral de projeto, é esquematizado na Fig. 2.2.

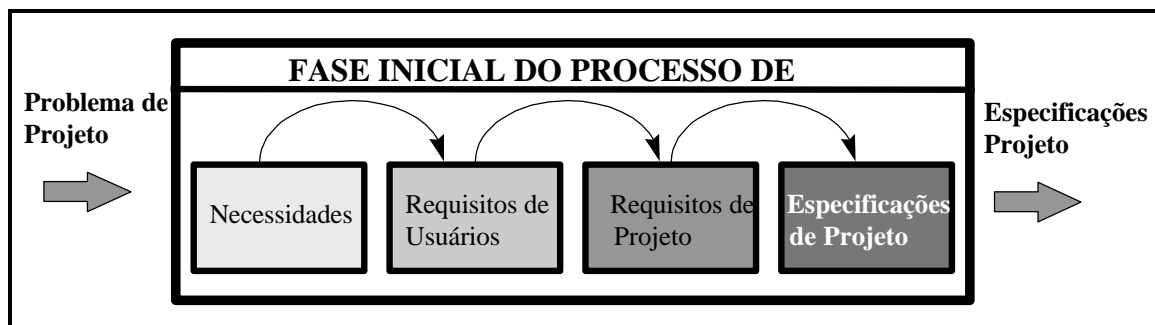


**Figura 2.2 – Processo geral de projeto.** (Fonte: FONSECA, 2000)

Para uma adequada estruturação do Projeto Informacional consideram-se, como comentado anteriormente, quatro categorias de informação como categorias relevantes realmente existentes no processo: as necessidades, os

requisitos de usuário, os requisitos de projeto e as especificações de projeto. Os requisitos de usuário, como a tradução das necessidades brutas à linguagem dos projetistas, é uma proposta nova de categoria, realmente existente dentro da fase, decorrente da observação de que o projeto informacional trabalha com informações que têm origem em necessidades externas à equipe de projeto; as necessidades podem ser entendidas de maneiras diversas e de forma que podem induzir opiniões diferentes, ou ainda de forma confusa. Isto significa que toda necessidade bruta (seja na forma escrita ou falada) deve ser submetida a uma “análise de significado” (FONSECA, 2000). Isto implica numa procura por consenso da equipe de projeto sobre o significado do que se expõe na necessidade.

Esta “análise de significado” tem como resultado o que se denomina requisito de usuário, que não é mais do que a necessidade bruta expressa em forma padronizada, de maneira que possa ser entendida, consensualmente e sem dúvidas, pela equipe de projeto. A fase de projeto informacional, como processo de transformação de informações, consiste num desdobramento das necessidades de entrada, que são transformadas em requisitos de usuário primeiramente, em requisitos de projeto após e, finalmente, em especificações de projeto, segundo proposto na Fig. 2.3.



**Figura 2.3 – Transformações das informações dentro da primeira fase do processo de projeto.**

(Fonte: FONSECA, 2000)

Os requisitos de projeto são os aspectos físicos e técnicos mensuráveis do produto, decorrentes do trabalho de projeto na fase inicial, como por exemplo: “cor clara” ou “peso leve”. As especificações de projeto são constituídas pelos requisitos de projeto com suas metas alvos, objetivos e restrições individuais, indispensáveis para o desenvolvimento do projeto, mais as metas, objetivos e restrições do projeto como um todo.



---

A diferença entre requisito de projeto e especificação de projeto está na definição, ou não, das metas, objetivos e restrições. Nas especificações de projeto, estas precisam ser definidas, enquanto nos requisitos de projeto, não. Um requisito de projeto passa a ser uma especificação de projeto, quando definem-se suas próprias metas, objetivos e restrições.

As metas são os valores alvos, a serem definidos nas métricas associadas aos requisitos de projeto selecionados; podem estar contidos no problema de projeto ou, na maioria das vezes, são definidos pelos projetistas, como por exemplo: "cor verde" ou "peso igual ou menor do que dois quilogramas".

Os objetivos são definições importantes contidas no problema de projeto, ou a serem levantadas pela equipe de projeto, que expressam o que se procura com determinado requisito ou trabalho de projeto, como por exemplo: "a cor deve tender a tranquilizar os usuários" ou "o produto tem que ser carregado somente com uma mão".

As restrições são elementos de limitação impostos no problema de projeto, decididas pela equipe de projeto ou impostas por normas, tais como: "não usar tinta acrílica" ou "nunca maior do que cinco quilogramas".

Em resumo, pode-se dizer que as especificações de projeto devem conter as seguintes diretrizes básicas:

- Orientar a busca adequada de soluções de projeto;
- Limitar o espaço das soluções prováveis;
- Estabelecer as metas específicas a serem atingidas;
- Proporcionar elementos para a seleção de alternativas;
- Facilitar o gerenciamento da atividade de projeto; e
- Oferecer um guia para o controle da atividade de desenvolvimento.

A partir das definições apresentadas, ficou caracterizado que o projeto propriamente dito é parte de um processo maior, a saber, o processo de desenvolvimento de produtos e que o mesmo deve ser precedido pelas atividades primárias de *marketing* (definição do problema de projeto), seguido das atividades de preparação da produção, lançamento, venda, uso, funcionamento, entre outras. Desta forma, todo processo sistematizado de desenvolvimento de produto se inicia com uma etapa obrigatória, que consiste na familiarização com o problema que vai ser resolvido, procurando o maior volume de informação possível sobre o mesmo.

---

Neste sentido, a equipe de projeto precisa levantar informações mínimas necessárias (objetivo principal deste capítulo), expostas a seguir.

Na realidade, estas informações mínimas devem estar contidas no problema de projeto, o qual é composto dos seguintes dados previamente levantados:

- Dados do estudo de *marketing* prévio;
- Tipo de produto;
- Tipo de projeto;
- Volume planejado de fabricação;
- Desejos explícitos expostos no problema de projeto e
- Restrições do projeto ou do produto.

Este trabalho limitou-se à obtenção de dados com o “estudo de *marketing*” (PINHEIRO, 2006), dos painéis acústicos de fibra de coco, através da aplicação de questionários, que consistem na primeira e principal fonte de informação para a equipe de projeto. Os questionários, sua elaboração e aplicação são discutidos posteriormente neste capítulo.

É importante que a equipe de projeto tenha como norma de trabalho a elaboração de um documento interno que deve ser preenchido na entrada (início) de qualquer problema de projeto, denominado “ordem de projeto”. O documento deve conter o mencionado problema, seja procedente da equipe de *marketing* ou procedente do ambiente externo.

A ordem de projeto deve conter informações importantes a serem levantadas junto ao promotor ou junto à equipe de *marketing*, preenchendo-os na presença deles, num primeiro contato de trabalho, indispensável para aclarar o problema. Na ordem de projeto referida, devem aparecer, obrigatoriamente, os campos seguintes: Objetivos; Metas; Restrições; Desejos explícitos; e Descrição do problema de projeto.

Outro passo importante está em definir os produtos concorrentes e patentes relacionadas, através de uma procura no mercado por produtos ou modelos similares ao que está sendo desenvolvido. Dentre os produtos similares identificados, devem ser definidos quais se constituem em líderes do mercado pela sua qualidade ou pelo seu preço, dependendo dos objetivos definidos para o produto. Dentre os produtos líderes, serão selecionados os concorrentes. Naqueles casos onde o produto que vai ser projetado (por causa de seu caráter inovador) não

---

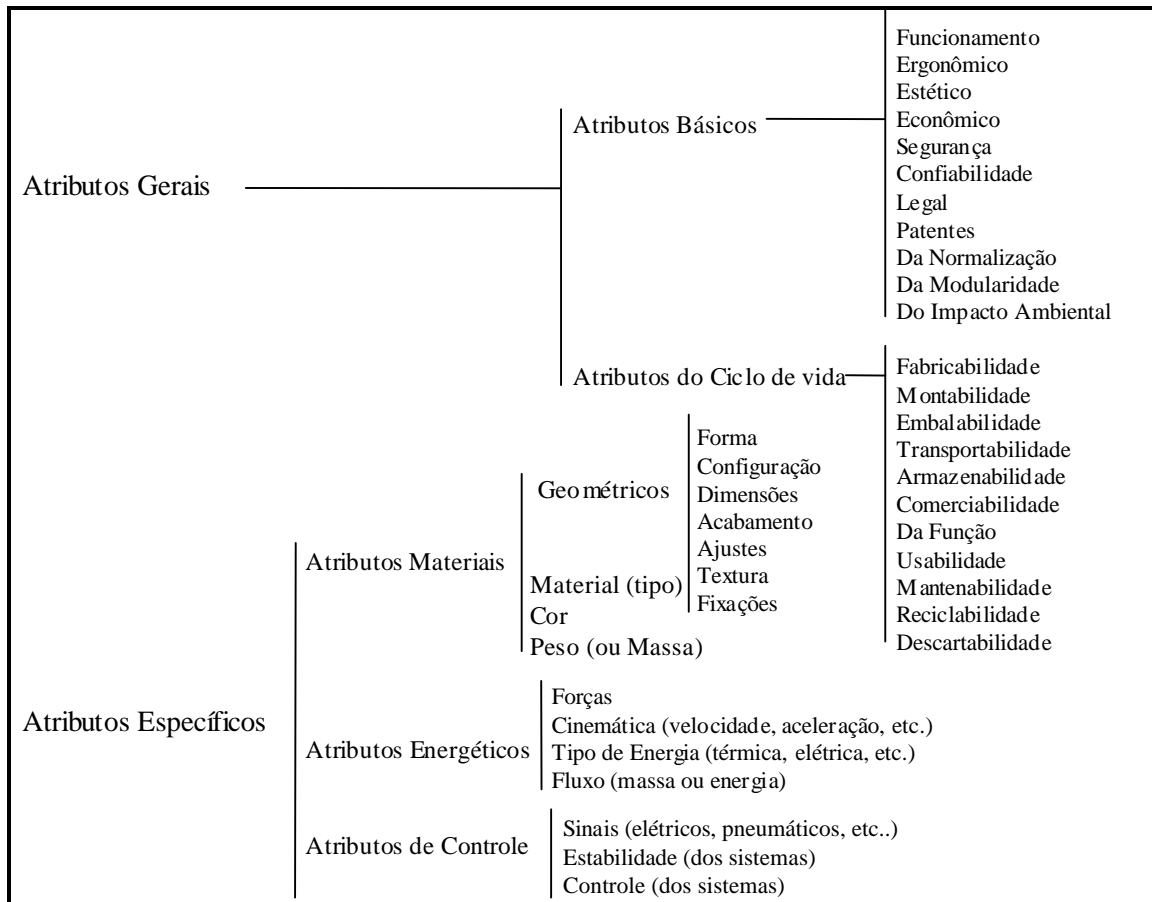
tenha produtos concorrentes, devem ser definidos os produtos similares em configuração, tecnologia e funcionamento, visando estabelecer padrões de comparação aproximados.

Com os dados disponíveis, obtidos na etapa anterior da metodologia (e com a experiência da equipe), o objetivo agora é definir as fases do ciclo de vida do novo produto, baseado em produtos similares ou baseado nos produtos que o antecederam. O ciclo de vida do produto pode ser definido como as sucessivas fases pelas quais o produto atravessa desde a análise de *marketing* inicial, definindo o produto, até o descarte. Deve-se tomar cuidado para não confundir os termos relativos às fases do processo de projeto com as fases do ciclo de vida.

O ciclo de vida depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se: tipo de produto que vai ser projetado (bens de capital ou bens de consumo); tipo de projeto a ser executado (projeto original ou reprojeto); se vai ser consumido em grande escala, longe do centro de produção (transporte e armazenagem); suas características de funcionamento (segurança e confiabilidade); suas características de uso e manuseio (interface humana); as possibilidades de serviços de manutenção e pós-vendas; e a filosofia de desativação, reciclagem ou descarte. Deve-se dedicar tempo suficiente na definição do ciclo de vida, já que é um fator fundamental para o trabalho de projeto.

Definido o ciclo de vida, é fácil detectar os clientes internos, intermediários e externos, envolvidos e associados às fases do ciclo de vida. A definição dos clientes é fundamental para levantar as necessidades que devem ser definidas antes das tomadas de decisões. Os clientes serão hierarquizados, considerando-se não somente os usuários diretos do produto, mas também todo o pessoal envolvido nas fases do ciclo de vida, como os fabricantes, vendedores, pessoal de manutenção e reciclagem, entre outros.

A tarefa agora será definir quais dos atributos do produto (Ver Fig. 2.4) serão usados como referência no levantamento das necessidades. A definição dos atributos do produto dependerá, como no caso da definição do ciclo de vida, de vários fatores, como tipo de projeto, tipo de produto, experiência dos projetistas no tipo de produto a ser desenvolvido, tempo disponível, recursos para executar o projeto, entre outros.



**Figura 2.4 – Classificação resumo dos atributos do produto. (Fonte: FONSECA, 2000)**

Em seguida, podem-se definir as “necessidades” de cada fase do ciclo de vida. Normalmente, existem duas maneiras gerais de levantar necessidades. Uma maneira é coletar as necessidades, em cada fase do ciclo de vida, através de questionários estruturados, atuando junto aos clientes. Coletadas as necessidades brutas através das entrevistas diretas ou telefônicas, através de envio de questionários escritos, ou usando qualquer outro método de interagir com clientes ou usuários (KAULIO, 1995; BESKOW, 1997; ULRICH, 1995), é necessário um processamento destas necessidades, classificando-as, ordenando-as e agrupando-as, usando as informações levantadas nas etapas e tarefas anteriormente executadas.

A segunda maneira de levantar necessidades é sem consultar os clientes do projeto, sendo que a equipe de projeto define diretamente as necessidades do projeto que está sendo desenvolvido; isto baseado nos trabalhos iniciais de *marketing*, na experiência dos projetistas, em *check-list*, ou nos atributos

do produto, usando em qualquer caso, as informações obtidas pelo trabalho precedente de captação de informações.

Deve-se salientar, adicionalmente, que este procedimento de levantamento das necessidades diretamente pela equipe de projeto é direcionado às pequenas empresas de poucos recursos para o desenvolvimento de produtos, projetistas individuais e estudantes de projeto.

Posteriormente à definição das necessidades, é conveniente um agrupamento e classificação das mesmas, incluindo aquelas necessidades originais do problema de projeto. Todas as necessidades serão agrupadas e classificadas dentro de cada fase do ciclo de vida. O agrupamento significa verificar os tipos de necessidades similares, eliminando-se as repetições e simplificando aquelas necessidades pouco relevantes para o projeto. Recomenda-se levar adiante somente um grupo selecionado (mínimo) de necessidades básicas, que atuem como filosofia geral dos trabalhos.

A próxima etapa é converter as necessidades em requisitos de usuário, sendo basicamente dividida em duas tarefas. A primeira busca traduzir as necessidades brutas para a linguagem dos projetistas, o que implica na seguinte sistematização (FONSECA, 2000): todo o requisito do usuário é uma frase curta composta pelos verbos *ser*, *estar* ou *ter*, seguida de um ou mais substantivos; ou uma frase composta por um verbo que não seja *ser*, *estar* ou *ter*, seguida de um ou mais substantivos, denotando, neste caso, uma possível função do produto (Ver Fig. 2.5).

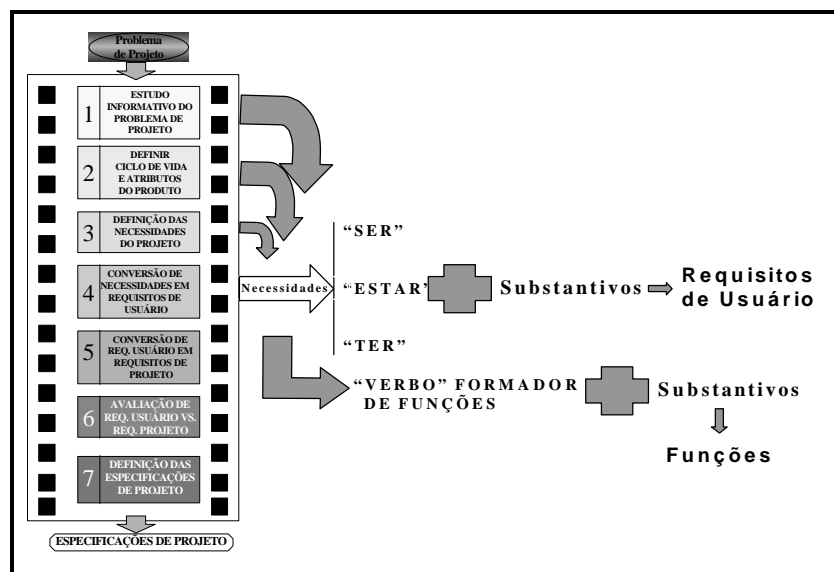


Figura 2.5 – Conversão de necessidades em requisitos de usuário. (Fonte: FONSECA, 2000)

O primeiro caso (usar os verbos *ser*, *estar* ou *ter*), auxilia na geração dos requisitos de usuário que não constituem funções do produto, mas são expectativas dos usuários. Estas expressões são as mais adequadas para expressar as necessidades brutas, contidas nas respostas dos questionários respondidos pelos clientes. As frases deste tipo representam desejos, pedidos, ordens, que de alguma maneira os clientes acham que devem ser incluídas, através do produto que está sendo projetado. A equipe de projeto deve estar preparada para transformar os desejos dos clientes no formato padronizado proposto. Por exemplo, se um cliente expressa que o produto deve possuir massa suficiente para garantir um produto pesado (projeto de um âncora), o requisito de usuário seria redigido assim: “Ter peso grande”. No segundo caso, (verbo mais substantivo) o verbo pode (ou não) ser um formador de funções possuindo então uma importância adicional para do produto que está sendo projetado.

Quando as necessidades são definidas diretamente pela equipe de projeto, elas podem ser escritas diretamente na forma padronizada usando os verbos *ser*, *estar* ou *ter*, mais os substantivos, ou usando os verbos formadores de funções mais os correspondentes substantivos obtendo-se, assim, diretamente os requisitos de usuário, sem necessidade de fazer a conversão posterior, o que acelera o processo.

A segunda tarefa para converter as necessidades em requisitos de usuário é identificar os tipos de requisitos geradores de funções. Existem verbos formadores das funções típicas da engenharia. Como um exemplo, durante a fase inicial do projeto de uma furadeira, a necessidade original de algum usuário expressa que: “a furadeira tenha potência suficiente para furar tanto madeira como concreto e metal”; esta expressão deve ser convertida em requisito de usuário.

A necessidade anterior é referida à potência do produto e define um dos parâmetros do projeto, neste caso a potência, mas também, implicitamente, expressa uma função do produto quando diz “furar metais”, que mesmo sendo uma necessidade, é de um tipo diferente da anterior referida à potência. A necessidade de furar metais é na realidade a que dá sentido à construção da furadeira, pela qual é denominada “função principal” e na forma de requisito de usuário será: “Furar metais de diferentes tipos”.

---

Fica claro então que as necessidades brutas, uma vez convertidas em requisitos de usuário, podem gerar dois tipos de informações: uma denota desejos dos usuários, relativas a características não funcionais e outra que gera prováveis funções do produto.

A etapa seguinte é pouco referenciada na literatura e constitui um passo importante para o projeto. Uma necessidade levada à linguagem dos projetistas (requisito de usuário) ainda está na forma de necessidade, sem estar associada às características mensuráveis do produto. Convertê-la em requisito de projeto, significa decidir algo físico sobre o produto, que o afetará definitivamente durante o trabalho de projeto. Os requisitos de usuário são expressões padronizadas, mas que podem não conter elementos físicos mensuráveis, indispensáveis para guiar a execução do projeto.

Posteriormente à conversão em requisitos mensuráveis, os requisitos de projeto devem ser agrupados e classificados. A classificação dos requisitos de usuário é feita segundo as fases do ciclo de vida, mas os requisitos de projeto devem ser classificados segundo os atributos básicos do produto, onde aparecem aspectos de tipo ergonômico, estético, econômico, entre outros, mais apropriados para a classificação e mais adequados para uma posterior organização do projeto conceitual que virá na continuação.

Em seguida, inicia-se a etapa de avaliação dos requisitos de usuário versus os requisitos de projeto, onde indica-se a utilização da “Casa da Qualidade” (HAUSER, 1988; KING, 1989; AKAO, 1990) implementada em um sistema computacional que facilita o trabalho operativo de preenchimento e realiza as operações algébricas envolvidas (FONSECA, 2000). Neste processo de avaliação são comparados também os requisitos de usuário versus os requisitos de cada produto concorrente anteriormente definidos. A resultante da “Casa da Qualidade” é uma hierarquização dos requisitos de projeto, que servirá de base para a formulação posterior das especificações de projeto. O trabalho com a “Casa da Qualidade” não é um imperativo para obter as especificações de projeto. A sua utilização dependerá de inúmeros fatores como da complexidade do produto que está sendo projetado e das possíveis vantagens que a equipe de projeto obtenha com o seu uso.

A etapa final da seqüência proposta é a definição das especificações de projeto, levando em conta as restrições, metas e objetivos do projeto. Primeiro deve-se confrontar a hierarquização final dos requisitos de projeto com o problema

---

de projeto original, definido neste trabalho. A confrontação é feita visando retomar a filosofia inicial implícita no problema que deu início ao projeto, visando incluir outros elementos de importância que também formam parte das especificações do projeto, decidindo quais requisitos de projeto integrarão, finalmente, as especificações.

Depois devem ser incluídas nas especificações de projeto, aquelas diretivas explícitas procedentes do problema de projeto e resultantes do estudo de *marketing* prévio, além de expor claramente os objetivos, as metas que devem ser atingidas, assim como as restrições impostas ao projeto ou ao produto. Por outro lado, para cada requisito de projeto selecionado como especificação de projeto, devem ser definidos os parâmetros alvos (metas específicas), a forma de avaliá-los e os fatores que devem ser evitados na sua implementação como complemento de cada requisito de projeto, que o converte em especificação de projeto. Estes dados juntos a uma descrição do produto a ser projetado constituem as especificações de projeto.

### **2.3 – ESTUDO DE “*MARKETING*” (PESQUISA DE MERCADO)**

Ter o melhor conhecimento do produto e/ou do mercado, entender em profundidade as necessidades e os desejos do consumidor, obter vantagens competitivas, são questões que “fervilham” nas mentes de todos que fazem parte da equipe de projeto, pois demandam informações valiosas de mercado que sustentem tomadas de decisões acertadas. Segundo a *American Marketing Association* (AMA), a pesquisa de *marketing* é a “obtenção sistematizada, armazenamento e análise de dados sobre situações de *marketing* de produtos e serviços”. Faz-se pesquisa quando há a necessidade de busca de dados e fatos que forneçam respostas a respeito de um problema ou momento específico (PINHEIRO, 2006).

O planejamento de uma pesquisa inicia-se com a definição do problema da pesquisa, sendo esta etapa fundamental para o adequado desenvolvimento do processo. O problema de pesquisa delimita o alcance do estudo, especifica a natureza da informação desejada e explica quais os reais objetivos da pesquisa.

As pesquisas podem ser enquadradas em dois tipos: as pesquisas contínuas (realizadas em intervalos regulares de tempo, tomando como base uma



---

amostra fixa) e as pesquisas “*ad hoc*”, do latim, que significa “sob medida” (realizadas para atender a um objetivo específico, num momento específico).

A partir deste entendimento, deve-se escolher a metodologia de pesquisa mais adequada à necessidade de investigação mercadológica. As principais nomenclaturas utilizadas para classificar as metodologias de pesquisa são as seguintes: pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa experimental. A pesquisa exploratória é usada quando se busca um entendimento sobre a natureza geral de um problema, as possíveis hipóteses alternativas e as variáveis relevantes que precisam ser consideradas (AAKER, 2001). A pesquisa exploratória colabora na definição do problema de pesquisa, ajuda a definir o foco e as prioridades de estudo e visa compreender o comportamento e as atitudes dos consumidores. Normalmente a técnica de pesquisa exploratória mais conhecida é a pesquisa qualitativa (melhor discutida posteriormente).

A pesquisa descritiva tem por objetivo descrever uma determinada realidade de mercado, dimensionando variáveis, por exemplo, mensuração do grau de satisfação de clientes de um determinado produto ou mapeamento do potencial mercado para lançamento de um novo empreendimento, ou seja, seu objetivo é obter um “retrato” de algumas características presentes num determinado mercado. A pesquisa quantitativa é a técnica comumente utilizada para a pesquisa descritiva (PINHEIRO, 2006).

A pesquisa experimental visa medir relações de causa e efeito entre variáveis conhecidas, ou seja, se uma mudança de uma variável causou uma variação observável em outra. A abordagem de uma pesquisa experimental pode ser qualitativa ou quantitativa. Por exemplo, para um teste de embalagem utiliza-se normalmente a técnica qualitativa, já para medir o resultado de vendas na introdução de um novo produto numa área-teste, utiliza-se a técnica quantitativa.

A técnica quantitativa é um estudo estatístico, que se destina a descrever as características de uma determinada situação mercadológica, medindo numericamente as hipóteses levantadas a respeito de um problema de pesquisa. A pesquisa quantitativa visa confirmar se os dados mensuráveis obtidos numa amostra são estatisticamente válidos para o universo do qual a amostra foi retirada. O que importa numa pesquisa quantitativa é a representatividade dos resultados baseados em critérios probabilísticos de seleção de amostras (PINHEIRO, 2006).

---

A pesquisa quantitativa permite o levantamento de um grande volume de dados, pois adota um processo de pesquisa mais formal e estruturado. A análise dos dados é baseada em estatísticas (frequências, médias, desvios-padrão etc.), e as constatações desse tipo de pesquisa são usadas como instrumento para a tomada de decisão. A metodologia quantitativa é freqüentemente usada quando já se dispõe, em relação a um determinado problema, de conhecimento suficiente para a formulação de hipóteses. Muitas vezes, a pesquisa quantitativa testa as hipóteses levantadas num estudo de caráter qualitativo.

A técnica ou pesquisa qualitativa é um estudo não estatístico que identifica e analisa profundamente dados não mensuráveis – sentimentos, sensações, percepções, pensamentos, intenções, comportamentos passados, entendimento de razões, significados e motivações – de um determinado grupo de indivíduos em relação a um problema específico. O propósito da pesquisa qualitativa é descobrir o que o consumidor tem em mente (AAKER, 2001).

A abordagem qualitativa é altamente recomendada quando: não se dispões de mapeamento anterior em relação a um determinado problema; é necessário gerar opiniões sobre aceitações de produtos; pretende-se avaliar reações a novos produtos ou a mudança de produtos; dentre outros. Assim, como já comentado no presente capítulo, a pesquisa qualitativa tem caráter exploratório, logo, a metodologia de coleta de dados é dinâmica e bastante flexível.

As amostras na pesquisa qualitativa são pequenas e selecionadas mediante critérios subjetivos e arbitrários do pesquisador, não sendo necessário nenhum cálculo estatístico para se determinar o tamanho da amostra. Está é a principal limitação do estudo qualitativo, pois os resultados encontrados não podem ser extrapolados para o universo. Contudo, isso não significa que a pesquisa qualitativa possui uma “deficiência irreparável”. Seu propósito, simplesmente não é conferir representatividade aos resultados (papel da pesquisa quantitativa), mas garantir que estes sejam profundos na compreensão do consumidor (PINHEIRO, 2006).

As pesquisas qualitativas podem ser realizadas através de grupos de discussão ou através de questionários em entrevistas individuais. A elaboração dos questionários é vista por várias literaturas relacionadas, como uma “arte imperfeita”, pois não existem regras claras que possam produzir um bom questionário de pesquisa (AAKER, 2001). Entretanto, algumas precauções podem ajudar a construir

um instrumento de coleta de dados que seja consistente e adequado aos objetivos da pesquisa, como por exemplo: adequar o perfil dos entrevistadores ao do entrevistado para que tenham a mesma linguagem, não fazer perguntas embaraçosas, não obrigar o entrevistado a fazer cálculos etc.

A elaboração dos questionários pode ser auxiliada através de um roteiro. Este roteiro deverá ser preparado com base nas fases do ciclo de vida e nos atributos básicos listados na Fig. 2.4 relacionados ao produto, objeto da pesquisa (FONSECA, 2000).

A forma, a ordem e a quantidade de questões dependem também do método de coleta de dados que será utilizado (entrevista pessoal, por correio, pela Internet, por telefone etc.) e do grau de acessibilidade que o pesquisador tem com os respondentes. É fundamental que se faça um pré-teste do questionário antes de iniciar o trabalho de campo. Um pré-teste irá verificar a fluidez e a estrutura lógica do questionário, as possíveis reações dos entrevistados, o entendimento das questões e o tempo despendido na entrevista.

Quando se prepara a pesquisa de campo, há um procedimento denominado instrução geral, no qual todas as técnicas de entrevistas são abordadas e transmitidas aos entrevistadores, e todas as eventuais dúvidas são esclarecidas, a fim de se evitar o máximo possível de futuras instruções individuais que, além de cansativas para o responsável pela supervisão e instrução, prejudicam a padronização do estudo. É importante que o instrutor mostre de forma bem clara a maneira correta de anotar as respostas (PINHEIRO, 2006).

A análise e a interpretação da pesquisa qualitativa são extremamente trabalhosas e requerem muita atenção do pesquisador, visto que existe uma grande disparidade entre os comentários geralmente obtidos (AAKER, 2001). E, por fim, o relatório final deve contemplar a metodologia empregada na pesquisa, o plano de amostragem utilizado e a análise em si. Vale destacar que a transcrição e a codificação dos dados não cabem no relatório de pesquisa, e sim, apenas a análise com a reprodução das frases dos entrevistados (PINHEIRO, 2006).

## **2.4 – OBJETOS DE ANÁLISE**

Foram expostos nos tópicos anteriores em detalhes, a seqüência metodológica mais lógica para o estabelecimento das “categorias” relevantes de

informações existentes no processo de projeto e desenvolvimento de um produto, e a forma adequada de definir um estudo de *marketing*. Portanto, com o objetivo de obter informações que justifiquem, frente aos principais usuários de produtos para o controle acústico, o desenvolvimento de um novo produto confeccionado a partir das fibras de coco, formulou-se o seguinte “Problema de Pesquisa” (Ver Tab. 2.2):

Tabela 2.2 – Problema de pesquisa.

<b>PROBLEMA DE PESQUISA</b>	
<b>Definição do Problema</b>	Levantamento de informações para justificar e auxiliar no desenvolvimento de painéis acústicos confeccionados a partir de fibras de coco
<b>Objetivos</b>	<p><b>- Pesquisar Características e Aspectos:</b> Arquitetônicos; funcionais; de usabilidade; estéticos; de confiabilidade; de segurança; de impacto ambiental; reciclabilidade; e manutenibilidade.</p> <p><b>- Público Alvo:</b> Indústrias; projetistas (engenheiros e arquitetos); e estúdios de música.</p>
<b>Metodologia</b>	Exploratória/Qualitativa
<b>Método de Coleta</b>	Entrevista Pessoal

O critério adotado para selecionar os entrevistados levou em consideração a representatividade do escolhido e sua possível necessidade em controlar o ruído em ambientes próprios (no caso das indústrias e dos estúdios de música) ou em ambientes definidos por seus clientes (no caso dos projetistas). Definidos os “candidatos” para a entrevista, encaminharam-se ofícios explicando os objetivos da pesquisa e solicitando o agendamento da entrevista.

A pesquisa foi realizada na forma de questionários, aplicados pessoalmente por entrevistadores previamente treinados, visando reduzir a possibilidade de preenchimento inadequado dos questionários, principalmente nas primeiras entrevistas. A elaboração dos questionários foi realizada com base nas possíveis fases do ciclo de vida e atributos básicos de Painéis Acústicos. Nos Apêndices AP.A, AP.B e AP.C, podem ser visualizados os questionários elaborados

e aplicados às indústrias, aos engenheiros e arquitetos (projetistas) e aos estúdios de música, respectivamente.

#### **2.4.1 – Indústrias**

Foram selecionadas cinco indústrias da região para aplicação dos questionários (Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, Fábrica de Celuloses e Papel da Amazônia S/A – FACEPA, Tramontina Comercial Norte Ltda, Empresa Brasileira de Big Bags – EBBB e Eldorado Exportação e Serviço Ltda). As que responderam aos questionários foram:

**- Companhia Vale do Rio Doce – CVRD**

Data da Entrevista: 26/07/2002

End: Serra dos Carajás/Parauapébas-Pará

Entrevistado: Geraldo Pompéia Braga

Função: Técnico em Segurança no Trabalho

Tel: (92) 327-4249

**- Tramontina Comercial Norte Ltda**

Data da Entrevista: 21/08/2002

End: Av. Principal, 700, Setor C, Qd. 2, Distrito Industrial de Icoaraci/Belém-Pará

Entrevistado: Jaime Damasceno Lima

Função: Técnico em Segurança no Trabalho

Tel: (91) 3211-7700

**- Empresa Brasileira de Big Bags – EBBB**

Data da Entrevista: 11/11/2002

End: Rua Betânia, 386 – Benguí/Ananindeua-Pará

Entrevistado: Márcio Ricardo

Função: Técnico em Segurança no Trabalho

Tel: (91) 3279-6900

**- Eldorado Exportação e Serviço Ltda**

Data da Entrevista: 13/11/2002

End: Estrada Nova do Outeiro, Setor B, Lote de 1-11, Distrito Industrial de Icoaraci/Belém-Pará

Entrevistado: Benedito Lira

---

Função: Técnico em Segurança no Trabalho  
Tel: (91) 3227-7666

#### **2.4.1.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados”**

##### **- Companhia Vale do Rio Doce – CVRD**

Esta empresa se mostrou preocupada com a questão do controle de ruído, de uma “boa” estética para os produtos de controle de ruído, seguido de custos mais baixos e melhores resultados dos mesmos. Porém, a empresa não tem muitos problemas com isto, pois tem resolvido estes problemas facilmente com o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI’s) e vidros duplos nas janelas de algumas salas. Logo, não há custo com a manutenção destes equipamentos, pois são feitas apenas limpezas periódicas e substituição de algumas partes dos mesmos quando necessário com mão-de-obra própria, sendo o setor de Segurança do Trabalho responsável por esta tarefa. A única sala que exige um controle de ruído mais elaborado é a sala do “Dinamômetro”, visto que na ocasião de seu projeto não foram previstos materiais de isolamento e nem de condicionamento acústico.

##### **- Tramontina Comercial Norte Ltda**

Esta empresa foi muito receptiva e se mostrou muito interessada no resultado da pesquisa, uma vez que já vem trabalhando com o controle de ruído em suas máquinas (atualmente algo em torno de 10% de seus equipamentos em operação estão “enclausurados”) e a possibilidade de obtenção de um produto com baixo custo e com a utilização de matéria-prima regional teria uma excelente aceitação por parte da diretoria da empresa. Por ocasião desta visita, a empresa expôs algumas de suas preocupações e necessidades quanto ao produto, tais como: alto custo dos produtos existentes no mercado, riscos de incêndio (segurança quanto à combustão), melhor eficiência, mais facilidade na aquisição e compra (os produtos fabricados e vendidos na própria região eliminaria os gastos com frete). Entretanto, esta empresa declarou que não há preocupação com a aparência do produto, mas que ele deve ser de fácil montagem e instalação.

---

### **- Empresa Brasileira de Big Bags – EBBB**

Esta empresa apresenta uma política de controle de ruído bastante deficiente. Isto ocorre em virtude da não conscientização da administração da empresa quanto aos riscos causados pelo excesso de ruído no ambiente de trabalho. Na visão da empresa, a maneira mais viável de se atenuar o ruído é através do uso de EPI's, uma vez que acredita que os custos são bem menores e mais adequados à realidade da empresa, que possui máquinas difíceis de serem "enclausuradas". Na opinião do entrevistado, os produtos para controle de ruído devem apresentar as seguintes características: boa eficiência, baixo custo e fácil manuseio e instalação. E assim como na maioria das empresas, o setor de segurança do trabalho é o responsável pelo controle dos níveis de ruído, setor este que precisa de uma melhor estruturação e apoio.

### **- Eldorado Exportação e Serviço Ltda**

Esta empresa, assim como a Empresa TRAMONTINA, foi bastante receptiva e demonstrou um enorme interesse em controlar os altos níveis de ruído no ambiente de trabalho. Nesta empresa teve-se um enorme aproveitamento no que se refere à obtenção de informações e sugestões. Foram expostas algumas necessidades e preocupações da empresa no que diz respeito ao controle de ruído, tais como: uma boa aparência, pois a empresa acredita que a aparência está ligada à humanização, ou seja, uma boa aparência induz os seus funcionários a desenvolverem um "senso de limpeza", cuidado e organização do local de trabalho; o custo dos produtos para controle de ruído são bastante elevados, pois na visão da empresa, o mercado de produtos para controle de ruído é muito pequeno, ficando restrito a poucos fornecedores, o que aumenta a dificuldade em se obter os produtos. A empresa está bastante empenhada em eliminar os altos níveis de ruído dentro do ambiente de trabalho e vem investindo sistematicamente para que esse problema seja sanado o mais rápido possível. Mesmo considerando altos os custos, a empresa mostra-se disposta a continuar investindo em produtos para controlar o ruído na fonte ("enclausuramentos"), porém, sem abandonar ainda o uso de EPI's.

### 2.4.1.2 – Análise dos Resultados

Foi observado que todas as indústrias visitadas preocupam-se com os altos níveis de ruído e também com os altos custos dos produtos para controle de ruído. Já em relação à questão da aparência dos produtos ocorreu uma divisão nas opiniões, onde 50% acha essencial uma boa aparência e a outra metade acha que uma boa eficiência supera o fator estético no caso em questão. Ainda é predominante nas empresas visitadas o uso de EPI's, o que leva a um custo praticamente fixo de manutenção e renovação dos mesmos. Também foi observado que em todas as empresas visitadas, o setor de segurança no trabalho é o responsável pelo controle de ruído.

Algumas empresas visitadas já estão investindo alto em produtos para controle de ruído e pretendem continuar investindo até que se elimine o problema; já outras acham que investir nesta área não trará lucros imediatos para a empresa, limitando seus investimentos. Por fim, de forma geral, os responsáveis pelas Indústrias visitadas, ficaram bastante motivados com a pesquisa devido à falta de conhecimento na região em relação ao controle acústico de ruído e também, devido ao alto custo dos produtos oferecidos no mercado.

### 2.4.2 – Projetistas (Engenheiros e Arquitetos)

Foram selecionados quatro Projetistas (Engenheiros e Arquitetos) da região para aplicação dos questionários, como descrito abaixo:

**- Marko Engenharia**

Data da Entrevista: 05/08/2002

End: Rua Caripunas nº 1400, Belém-Pará

Entrevistado: Paulo Takashi Sawaki

Função: Diretor Técnico

Tel: (91) 3241-5818

**- Escritório Alcir Meira**

Data da Entrevista: 07/08/2002

End: Rua Serzedelo Correa, 1269, Esq. com Timbiras, Belém-Pará

Entrevistado: Alcir Meira

Função: Arquiteto



Tel: (91) 3241-5973

**- Engenharia e Planejamento Ltda – Engeplan**

Data da Entrevista: 14/08/2002

End: Br: 316; Km 1; Passagem Sta. Maria nº100, Belém-Pará

Entrevistado: Dilton Vaz Pereira

Função: Técnico Mecânico

Tel: (91) 3245-0200

**- Escritório Meira**

Data da Entrevista: 16/08/2002

End: Avenida Pres. Vargas, 197 Ap 224 Ed Importador,  
Campina/Belém-Pará

Entrevistado: Aurélio Meira

Função: Engenheiro Civil

Fone: (91) 3242-4757.

#### **2.4.2.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados”**

**- Marko Engenharia**

O Engenheiro entrevistado, demonstrou preocupação com o controle dos níveis de ruído, porém afirmou que em sua região, a procura e a utilização destes produtos é muito pequena por parte de seus clientes, devido aos elevados custos desses materiais. Alguns parâmetros são apontados pelo engenheiro como sendo de grande importância para os produtos para controle de ruído, tais como: boa aparência; boa eficiência; possuir outras propriedades como isolamento térmico; e principalmente ter um custo baixo. A empresa, segundo o entrevistado, tem pouco conhecimento e interesse em produtos para controle de ruídos, não preocupado-se com o uso dos mesmos, principalmente, como já comentado, porque não há interesse por parte dos clientes. A maioria das obras, por eles executadas, tem perfil residencial, o que os fazem descartar a utilização destes produtos, pois encareceria muito o projeto final. A empresa conclui que só se interessaria em utilizar produtos para controle de ruído em obras residenciais, se os mesmos tivessem uma grande redução em seus custos.

---

#### - Escritório Alcir Meira

O Arquiteto entrevistado declarou não existir preocupação nem por parte da empresa, nem dos clientes em utilizar produtos para controle de ruído, pelo fato de conhecerem muito pouco sobre esses produtos e pelos custos dos mesmos serem bastante elevados, o que compromete o custo final dos projetos. O entrevistado declarou ter pouco conhecimento do assunto e, por isso, justificou o fato de pouco utilizar os produtos para controle de ruído. Também relatou que uma possível redução nos custos dos produtos para controle de ruídos pode promover uma maior procura dos mesmos. Afirmou ainda que só usa este tipo de produto em ambientes específicos, como auditórios, centros de convenções e teatros.

#### - Engenharia e Planejamento Ltda – Engeplan

A entrevista feita nesta empresa não apresentou um bom aproveitamento para a pesquisa, pois o entrevistado não tinha conhecimento do assunto e por isso não conseguiu responder a maior parte do questionário.

#### - Escritório Meira

Em termos de conhecimento sobre produtos para controle de ruído, o Arquiteto Aurélio Meira mostrou-se muito interado e interessado, alegando experiência em função de muitos trabalhos realizados com esses tipos de produto. Durante esta entrevista foram citados alguns materiais já utilizados pelo entrevistado, como é o caso da fibra de vidro, lã de rocha, alguns produtos Eucatex e em que situações eles podem ser empregados. Foi também discutida a questão dos riscos que esses materiais podem oferecer aos usuários como é o caso da lã de vidro, por exemplo, que é de difícil manuseio, tendo-se preocupação quanto à contaminação oferecida pela mesma, e também dos riscos de combustão desses produtos. Outro ponto discutido nesta entrevista foi quanto aos elevados custos dos produtos para controle de ruído, o que às vezes acaba inviabilizando a utilização dos mesmos dependendo do projeto ao qual serão empregados.

O entrevistado deixou bem claro que os produtos para controle de ruídos têm três características que não podem ser desprezadas. Segundo ele, eles precisam promover conforto: **térmico, acústico e visual** e que uma diminuição nos custos traria um aumento na procura e utilização destes produtos.

### 2.4.2.2 – Análise dos Resultados

Foi observado que a maioria dos projetistas entrevistados, tem preocupação com o controle dos altos níveis de ruído, porém, também observou-se que a maioria tem pouco conhecimento nesta área, justificando isto pela falta de cobrança dos seus clientes e pelos elevados custos desses produtos, tornando inviável sua utilização na maioria dos projetos por eles realizados. Assim como nas indústrias, os engenheiros e arquitetos dividiram-se quanto à questão da aparência dos produtos para controle de ruído, porém, foram unânimes quanto à questão do custo elevado destes produtos. Defenderam também a idéia de que a principal exigência quanto a este tipo de produto está na eficiência apresentada pelos mesmos.

De forma geral, percebe-se um grande interesse por parte dos Projetistas (engenheiros e arquitetos) em relação ao desenvolvimento de painéis acústicos na região, principalmente como já comentado, devido ao alto custo dos produtos vendidos no mercado e à falta de informação sobre suas características técnicas.

### 2.4.3 – Estúdios de Música

Foram selecionados oito Estúdios de Música da região para aplicação dos questionários (Estúdio Kzan Gama, Estúdio da Tv e Rádio Cultura, Estúdio PlaySom, Estúdio Apce, Estúdio Midas Amazon, Estúdio Mango, Estúdio D&D e Estúdio da Rádio Rauland). Os que responderam aos questionários foram:

**- Estúdio Kzan Gama (Estilo Europeu)**

Data da Entrevista: 13/11/2002

End: Travessa do Chaco, 7022, Belém-Pará

Entrevistado: Kzan Gama

Função: Músico e Proprietário

Tel: (91) 3226-1257

**- Estúdio da TV e Rádio Cultura**

Data da Entrevista: 18/11/2002

End: Travessa do Chaco, S/N – Esquina com Av. Almirante Barroso, Belém-Pará

Entrevistado: Paulo Miranda  
Função: Técnico de Manutenção  
Tel: (91) 9965-4665

**- Estúdio PlaySom**

Data da Entrevista: 20/11/2002  
End: Travessa Dom Pedro I, 1261 – Umarizal, Belém-Pará  
Entrevistado: Daniel Benitez  
Função: Proprietário  
Tel: (91) 3230-1777

**- Estúdio Apce**

Data da Entrevista: 29/11/2002  
End: Rua Dr. Malcher, 465, Belém-Pará  
Entrevistado: Fernando Assis  
Função: Proprietário  
Tel: (91) 3242-5045

**- Estúdio Midas Amazon**

Data da Entrevista: 26/12/2002  
End: Rua Ó de Almeida, 40, Belém-Pará  
Entrevistado: Julio Vicari  
Função: Técnico do Estúdio  
Tel: (91) 9983-3091

#### **2.4.3.1 – Resumo das Respostas dos “Pesquisados”**

**- Estúdio Kzan Gama (Estilo Europeu)**

Segundo o entrevistado, que tem larga experiência em estúdios de vários países da Europa, a utilização de produtos para controle de ruídos é imprescindível para a gravação de boa qualidade em qualquer estúdio e, por isso, todo estabelecimento musical europeu tem um bom sistema acústico. Outra característica muito comum dos estúdios europeus é o grande cuidado com a boa aparência gerada pelos produtos para controle de ruídos. Por isso, existe uma grande variedade de produtos no mercado internacional, de tal forma que a eficiência do material não atrapalhe na boa aparência do estúdio.

---

Quanto à segurança, o entrevistado colocou que os produtos usados para controle de ruído são dotados de um mecanismo pelo qual o material não “pega fogo”, por isso, o perigo de incêndio não é uma grande ameaça nos estúdios em operação. No caso da durabilidade dos produtos, o entrevistado relata que o próprio clima europeu ajuda na conservação do material devido à baixa umidade, muito diferente do clima tropical da região amazônica. Porém, mesmo nestas condições de altos níveis de umidade e temperatura, de uma forma geral, a durabilidade do material é muito boa.

Quanto aos custos de aquisição e manutenção dos materiais para controle acústico, o entrevistado, fez o seguinte comentário: “É surpreendente como pouco se comenta sobre os custos dos materiais para controle acústico, nos estúdios em que trabalhei nos últimos anos na Europa. Provavelmente é porque o faturamento desses estúdios seja muito bom, o que torna o investimento em qualidade sonora irrelevante frente aos demais custos. Em todos os estúdios, quando necessário, um técnico terceirizado prestava manutenção nos painéis, porém, o mesmo não demonstrava ter nenhum conhecimento específico de acústica...”. Durante a entrevista ficou claro a facilidade de aquisição e compra destes materiais na Europa, principalmente devido à grande diversidade de produtos no mercado.

#### **- Estúdio da TV e Rádio Cultura**

Neste estúdio, verificou-se que seu projetista teve uma grande preocupação em fazer um bom planejamento acústico e, para isso, utilizou-se de vários produtos para o controle de ruídos que basicamente tinham duas únicas funções que eram de isolamento e de absorção acústica. Outra propriedade bem particular do local é o cuidado com a aparência do estúdio, onde foi possível obter-se uma “atmosfera agradável e aconchegante” sem interferir na eficiência acústica.

Quanto aos riscos de se trabalhar com os produtos para controle de ruídos, foi relatado pelo técnico responsável que o grande problema é o perigo de incêndio, pois estes materiais são incrivelmente inflamáveis. Fora isso, esses materiais parecem ser bastante seguros e duráveis, pois não há manutenção no local e os materiais vêm resistindo ao tempo (10 anos) com poucas falhas. O maior problema enfrentado pelos donos de estúdios com relação aos produtos para

---

controle de ruídos são os seus custos muito elevados e a difícil aquisição, pois não são fabricados na região.

Por fim, o entrevistado esclarece que, na maioria das vezes, os estúdios são controlados por técnicos que não têm nenhuma formação em acústica e contam apenas com as experiências adquiridas durante os anos de trabalho nesta profissão.

#### **- Estúdio PlaySom**

Neste estúdio também houve uma grande preocupação em evitar interferências acústicas, pois foi instalada uma boa quantidade de produtos para controle de ruídos. Porém, neste caso não houve qualquer planejamento técnico para a boa utilização destes produtos, visto que não existe nenhum projeto ou estudo acústico para sua construção. Assim como nos outros, neste estúdio existiu uma grande preocupação com a questão estética, pois segundo o proprietário do local todo estúdio precisa ter uma boa aparência para deixar uma boa impressão aos seus clientes e visitantes.

Novamente o proprietário do estabelecimento ao ser indagado sobre os riscos que um estúdio está submetido quando utiliza os produtos para controle acústico, respondeu: “Minha grande preocupação é com os incêndios”. Quanto à durabilidade desses materiais, o proprietário do estúdio não teve nada o que reclamar, pois não ocorreram danos aos materiais ao longo do tempo de uso.

Quanto aos custos dos produtos para controle de ruídos, a resposta do entrevistado foi a mesma dos demais: “São muito caros e às vezes se tornam inacessíveis para os padrões comerciais da nossa região, isso sem falar no frete que ainda temos que pagar para trazermos esses produtos de outras regiões”. Observou-se também que neste estúdio, assim como nos outros, não há formação técnica alguma em acústica, por parte de quem trabalha no local.

#### **- Estúdio Apce**

O projetista deste estúdio teve uma grande preocupação com a acústica do ambiente, pois além de especificar produtos para controle acústico, utilizou-se de técnicas de controle acústico, não vistas em outros estúdios da região, tais como: Inclinação das paredes opostas (para evitar relações de simetria e ondas estacionárias), janela “tripla” de vidro (com vista para um jardim externo) e difusores

quadráticos em algumas regiões (criando zonas num mesmo recinto com comportamentos acústicos diferentes).

Além disso, neste local existe um grande “conforto visual” gerado pela boa aparência que os materiais de função acústica proporcionaram ao ambiente. Segundo o entrevistado, todos os materiais utilizados no interior do estúdio possuem características anti-chamas e, segundo os fabricantes, uma vida útil de 10 (dez) anos.

A maior reclamação, por parte do entrevistado foi novamente por conta dos custos referentes à obtenção dos produtos para controle de ruídos, ainda maiores pelo frete pago para trazê-los de outras regiões (sul e sudeste). Mais uma vez observou-se que não há nenhum técnico com formação em acústica para trabalhar no local, utilizando-se apenas os conhecimentos adquiridos pelos seus proprietários ao longo do tempo.

#### **- Estúdio Midas Amazon**

Neste estúdio verificou-se que as preocupações com a acústica do ambiente são muito recentes, mas fica claro a extrema preocupação por parte do proprietário do local em manter a boa aparência do estúdio. Segundo o entrevistado: “ ... o material usado para controle acústico tem a mesma forma e sua cor entra em perfeita harmonia com a decoração do estúdio”.

Novamente, o técnico do estúdio citou o risco que os produtos para controle de ruídos proporcionam para seus usuários no sentido de serem muito inflamáveis. No caso dos custos para obtenção dos produtos para controle de ruídos, o entrevistado foi bastante enfático ao dizer que: “... no local só não há um bom sistema de condicionamento acústico, porque o preço é muito alto e às vezes foge do orçamento”.

Apesar de novamente verificar-se que o técnico responsável pela operação do estúdio não possui nenhuma formação em acústica, notou-se que existe no local um analisador de sinais que possibilita avaliar a resposta acústica da sala e, conseqüentemente, adequá-la aos parâmetros desejados.

### **2.4.3.2 – Análise dos Resultados**

Os entrevistados nos Estúdios de Música ficaram bastante motivados com a pesquisa devido à falta de conhecimento na região em relação ao controle acústico de ruído e, principalmente, devido à carência de um material com características regionais. O alto custo dos produtos oferecidos no mercado foi o assunto mais enfatizado durante as entrevistas, fato este agravado por causa do frete pago para transportá-los.

Destaca-se também que os materiais para controle acústico, segundo os entrevistados, quando utilizados nos estúdios de música devem: minimizar as interferências acústicas; manter a “boa aparência” das salas; não ser inflamáveis; e ser duráveis. Finalmente, destaca-se que o conhecimento técnico de acústica das pessoas responsáveis pelos estúdios que participaram das entrevistas aqui na Região Norte é muito pequeno. Todavia, foi relatado que em estúdios europeus, existe uma espécie de “consultoria acústica” contratada pelos proprietários dos estúdios, realizando constantemente avaliações e correções dos parâmetros acústicos desejados.



---

## **3 – A FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS**

### **3.1 – INTRODUÇÃO**

Neste capítulo encontram-se descritas todas as etapas do processo de fabricação do painel de fibra de coco, observando-se desde a coleta e obtenção do fruto até o final do processo industrial, destacando-se as possíveis e necessárias adaptações que deverão ser feitas.

### **3.2 – AS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS**

Como comentado no Capítulo 1 desta dissertação, existem basicamente dois tipos de coco, conhecidos como “Coco Verde” e como “Coco Híbrido” ou “Gigante”. O Painel é concebido, a partir da mistura das fibras do coco e de aglomerantes. As etapas descritas a seguir foram desenvolvidas para o beneficiamento da fibra de coco, em cooperativas e indústrias, englobando os aspectos técnicos e econômicos, tal que a seleção do processo de fabricação resulte na escolha daquele que apresente a melhor relação custo-benefício e utilizando-se como matéria-prima, o “Coco Gigante”.

Quanto ao “Coco Verde” não existem muitas indústrias que o utilizam em seus processos produtivos, principalmente devido ao menor comprimento de suas fibras e, conseqüentemente, menor resistência mecânica, e devido à grande quantidade de tecido não fibroso, ou seja, tecidos interconectivos existentes entre os feixes de fibras, o que dificulta a extração das fibras “limpas”. Entretanto, acredita-se que pequenas adaptações no processo de beneficiamento do “Coco Gigante” viabilizariam a utilização do “Coco Verde”, já que a resistência mecânica não é a principal característica desejada nos painéis de fibra de coco analisados e que uma grande quantidade deste fruto é jogada todos os dias no lixo.

O processo de fabricação dos painéis começa com a extração do coco (normalmente feita em cidades do interior do estado do Pará), onde são extraídos o Albúmem Sólido (parte branca e carnosa), o Albúmem Líquido (água e/ou “leite”) e finalmente o Mesocarpo (parte espessa e fibrosa). O Albúmem Sólido e o Albúmem Líquido são beneficiados pelas indústrias alimentícias, enquanto o Mesocarpo é

---

mandado para as unidades beneficiadoras do coco, comumente organizadas na forma de cooperativas. Foram estudadas cooperativas do Estado do Maranhão e do Pará, destacando-se as de Soure, Ponta-de-Pedras e Castanhal.

Nestas cooperativas, o processo é dividido em sete fases:

- O coco (mesocarpo) é recolhido e armazenado em uma área de céu aberto;
- Depois é colocado em tanques com água e mantido entre uma semana e no mínimo três dias de molho, com a finalidade de amolecer o mesocarpo;
- Os cocos são então retirados dos tanques e cortados em partes menores para serem colocadas na máquina desfibradora, com capacidade para o processamento de até 18 m<sup>3</sup>;
- Na desfibradora realiza-se, ao mesmo tempo, o desfibramento e a lavagem da fibra com água. Logo após o término desta fase, as fibras são recolhidas e levadas para uma área de secagem onde permanecerão por pelo menos um dia. O rejeito que sai da máquina desfibradora é conduzido para poços. A parte líquida (água) é bombeada para ser utilizada novamente no processo de beneficiamento e a parte sólida (Borra) que fica dos poços será utilizada na agricultura, por exemplo, como adubo;
- Após a secagem, as fibras são levadas para uma peneira, que tem a finalidade de separar as fibras maiores das fibras menores (Fibrilas) e o pó;
- Depois de separadas, as fibras maiores são prensadas em uma enfardadeira, formando fardos de 50 até 90 kg. Em média, cada Fruto rende aproximadamente 0,056 kg de Fibra;
- Finalizando esta etapa do beneficiamento do coco, os fardos são enviados para a indústria de beneficiamento da fibra, no presente caso a Indústria POEMATEC que possui um convênio com a UFPA. Na forma bruta, a fibra de coco tem uma durabilidade aproximada entre cinco e sete anos, se armazenada fora do contato com a água.

Nesta nova fase do processo de fabricação dos painéis, agora nas indústrias, a fibra bruta será beneficiada para obtenção do produto em sua forma final. Para isso percorrem-se basicamente as seguintes fases:

- Os fardos fornecidos pelas unidades beneficiadoras do coco (Ver Fig. 3.1) são desfiados a mão e colocados em uma outra desfibradora para uma nova seleção e lavagem das fibras (Ver Fig. 3.2), seleção esta que tem como objetivo uma nova separação das fibras maiores das menores e do pó, que não foram separados no peneiramento da fase anterior (nas cooperativas) e/ou que porventura surgiram durante o transporte. As principais matérias primas utilizadas neste processo são o Látex, a Fibra Bruta, e outros produtos químicos (anti-chamas, sabão, corante etc.). O Látex é utilizado com diferentes diluições que dependem do processo;



**Figura 3.1 – Fardos (início do processo).**



**Figura 3.2 – Processo de desfibramento.**

- As fibras maiores, com comprimento que normalmente não ultrapassa 200 mm, já bem soltas são colocadas em uma máquina que é responsável pela produção das cordas de fibra. O principal motivo de se transformar as fibras em corda (Ver Fig. 3.3) é de torná-las encaracoladas, melhorando assim a sua união. Esta fase impôs a limitação de apenas construírem-se painéis com fibras entrelaçadas, principalmente, devido às restrições hoje existentes no processo industrial de fabricação das mantas, não sendo ainda possível a confecção de painéis com fibras alinhadas;



**Figura 3.3 – Fabricação das cordas.**

- Após fabricadas, as cordas são então conduzidas até uma autoclave para serem “pré-cozidas” (temperatura em torno de 100 °C e pressão acima da atmosférica);
- Depois, estas cordas vão para um estoque temporário onde descansam por 15 dias;
- As cordas são então encaminhadas para uma máquina que as tritura e as mistura com a “fibra reciclada” (pedaços das mantas retiradas de uma etapa posterior do processo – Primeira Prensa Modeladora);
- Os pedaços triturados são então transformados em uma máquina, que mistura as fibras entrelaçadas com o látex, por um processo de

agulhamento, passando em seguida por um forno, já na forma de mantas;

- Depois de prontas, as mantas são conduzidas para a Primeira Prensa Modeladora que corta as mesmas com a forma de acordo com o produto a ser produzido, no presente caso, em forma de painéis;
- As peças cortadas são então arrumadas em um estoque temporário para, em seguida, serem conduzidas para a Segunda Prensa Modeladora, de onde já sairá o produto na sua forma semi-acabada. Esta prensa injeta ar quente a aproximadamente 150 °C, o que mantém o molde com a temperatura em torno de 80 °C. Este processo é semelhante ao processo de vulcanização, pois depois desta etapa, o produto passa a não se deformar mais com tanta facilidade quanto anteriormente. Antes da “manta cortada” entrar nesta prensa (“primeira vulcanização”) pode ser aplicado na mesma um corante, já com o objetivo de modificar a aparência do produto final (Ver Fig. 3.4);



**Figura 3.4 – Painel de fibras de coco semi-acabado.**

- Ao sair dessa prensa modeladora, são retiradas as rebarbas do painel que ainda não são reaproveitadas em nenhuma outra fase do processo. Aplica-se então um produto químico anti-chamas e retorna-se com o painel de Fibra de Coco à autoclave (“segunda vulcanização”);

- São então feitos o lixamento, pintura e o acabamento final para que os painéis possam ser liberados para deixar a indústria. Destaca-se também como característica desses painéis a capacidade de absorver a água e não apodrecer, pois após estas fases a fibra não retém a umidade.

Este processo de fabricação permite a confecção de uma grande variedade de painéis através da superposição das mantas, dando origem a um painel multicamadas. Por exemplo, pode-se obter um painel com  $60 \text{ kg/m}^3$  (Ver Fig. 3.5) através da superposição por prensagem de 4 mantas com  $18 \text{ kg/m}^3$  (Ver Fig. 3.6). No Capítulo 5 desta dissertação, serão apresentadas todas as configurações estudadas.



**Figura 3.5 – Painel com  $60 \text{ kg/m}^3$ .**



**Figura 3.6 – Manta com  $18 \text{ kg/m}^3$ .**

Este estudo ainda não está totalmente concluído. A sua continuidade se faz necessária, em diversos aspectos, a fim de viabilizar a determinação de alguns parâmetros mecânicos e acústicos de forma otimizada tais como: densidade; dimensões; perfil, geometria, coeficiente de absorção, etc., parâmetros estes discutidos nos próximos capítulos, além de parâmetros como o “tipo” de vulcanização a ser utilizado. Outro aspecto, já comentado no início deste capítulo, é a utilização de uma nova variedade de coco (o “Coco Verde”) que é em sua maior parte jogada no lixo, não sendo bastante difundida nos processos industriais pelo fato de suas fibras terem menor resistência mecânica.

Finalmente, como resultado, desenvolveu-se um painel em fibra de coco que poderá ser confeccionado a partir de equipamentos já existentes e que são utilizados pelas empresas beneficiadoras da fibra, como é o caso da Indústria POEMATEC, que tem um convênio com a UFPA, sem maiores investimentos e sem prejuízo para a capacidade de operação e produção dos mesmos.

## **4 – PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE FIBRA DE COCO**

### **4.1 – INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, descrevem-se algumas configurações de painéis de fibra de coco com o objetivo de levantar suas principais propriedades físico-químicas e mecânicas, relacionadas com os objetivos deste trabalho, fazendo-se uma descrição sucinta das bancadas de testes e procedimentos experimentais adotados. Foram analisadas também algumas variedades de fibras de coco brutas devido à possibilidade de utilização de tipos de fibras que atualmente são pouco explorados, mas que existem em maior abundância e com menor custo.

O Grupo de Vibrações e Acústica da UFPA, disponibilizou uma sala no Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), para recebimento das bancadas projetadas e construídas. Por outro lado, com os recursos financeiros disponibilizados, foram adquiridos materiais de consumo, microfones e equipamentos de medição.

### **4.2 – FIBRA DE COCO**

Foram analisados dois tipos diferentes de fibra de coco que podem ser utilizados na confecção dos painéis. O primeiro tipo de fibra analisada foi a que já é mais utilizada pelas indústrias do coco da região, a fibra do coco híbrido ou gigante. Este tipo de fibra de coco foi dividida em 2 (dois) grupos:

F1.1 – Amostras de fibra bruta; e

F1.2 – Amostras da fibra lavada com um “xampu” desenvolvido pela Indústria POEMATEC.

O segundo tipo de fibra ensaiado foi o do coco verde. As fibras deste tipo de coco foram obtidas através de um processo de maceração realizado manualmente, segundo literatura especializada no assunto, fornecida pelo Grupo POEMA da UFPA (POEMATEC, 2003). Este processo de maceração foi realizado de duas formas distintas e, por isso, as fibras também foram separadas em 2 (dois) grupos:



- F2.1 – Amostras de coco verde, cujas fibras foram primeiramente secas e depois maceradas; e

- F2.2 – Amostras de coco verde, cujas fibras foram maceradas sem que o coco passasse por um período de secagem.

Os ensaios realizados nestas fibras e os seus resultados estão descritos abaixo. Cabe destacar que alguns destes ensaios foram realizados no LEPRON – UFPA, auxiliados pelo químico Matheus Furtado.

#### 4.2.1 – Especificações Gerais

Tabela 4.1 – Especificações gerais da fibra de coco.

<b>FIBRA DE COCO</b>	<b>Composição Química:</b> CELULOSE – 43,44% LIGNINA – 45,84% SOLÚVEIS EM ÁGUA – 5,25% PECTINA – 3,00% RESÍDUO MINERAL – 2,22% HEMICELULOSE – 0,25%
----------------------	--

Fonte: Revista POEMATEC, 2003

#### 4.2.2 – Regain

O primeiro teste realizado foi o de “Regain”, que é definido como a massa de água (umidade) presente na fibra, expressa como um percentual da massa seca da fibra, respeitando condições de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente, conforme:

$$R(\%) = \frac{m}{m_s} \times 100, \quad (4.1)$$

sendo:  $R(\%)$  – Regain;  $m = m_f - m_s$  – Massa de “água na fibra” em g;  $m_f$  – Massa final da fibra em g;  $m_s$  – Massa da fibra seca em g.

Alguns equipamentos utilizados neste experimento estão ilustrados na Fig. 4.1. O procedimento para a sua determinação consiste das seguintes etapas:

- Realiza-se uma primeira pesagem nas amostras;
- Estas amostras são em seguida, submetidas a um processo de Secagem em uma Estufa a 105 °C por 1 h;

- Depois as amostras passam 5 min em um dessecador;
- Realiza-se uma segunda pesagem das amostras, obtendo-se então a massa da fibra “seca” (*ms*);
- Em seguida as amostras ficam em repouso por 24 h em sala climatizada;
- Finalmente, realiza-se a terceira pesagem obtendo-se a massa “final” da fibra (*mf*).

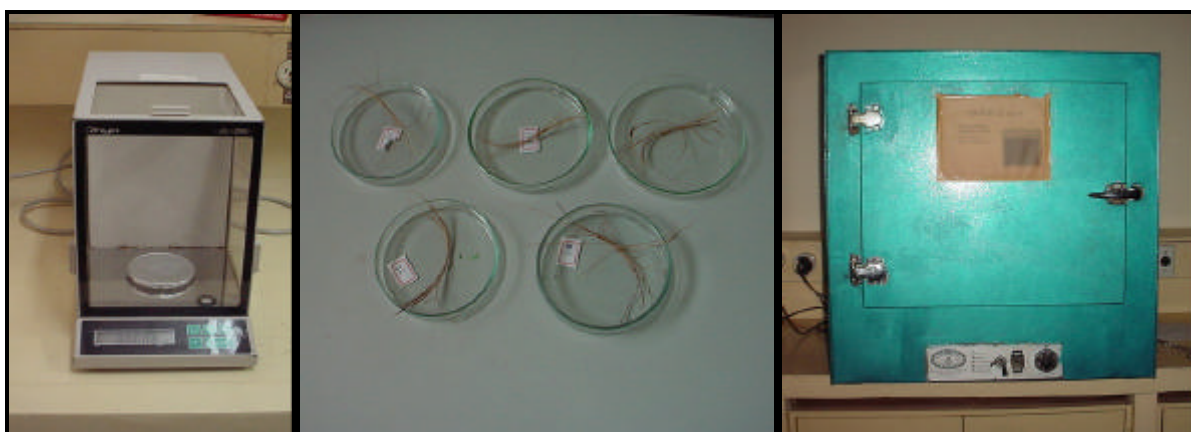


Figura 4.1 – Balança, corpos de prova e estufa.

Neste ensaio utilizaram-se três amostras de cada tipo de fibra, e os resultados são mostrados na Tab. 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados de *Regain* (%).

Fibra de Coco	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
F1.1	2,758 %	2,736 %	2,266 %	<b>2,59 %</b>
F1.2	2,245 %	2,233 %	2,092 %	<b>2,19 %</b>
F2.1	4,076 %	3,936 %	4,266 %	<b>4,09 %</b>
F2.2	8,476 %	12,726 %	7,349 %	<b>9,52 %</b>

#### 4.2.3 – Porosidade

Foi também realizado o ensaio para determinação da porosidade da fibra, que é definida como a relação percentual entre a massa dos vazios (“poros da fibra”) quando preenchidos por água e a massa das fibras propriamente ditas, segundo (MORTON, 1975):

$$P(\%) = \frac{(mf - ms)}{ms} \times 100, \quad (4.2)$$

sendo:  $P(\%)$  – Porosidade;  $mf$  – Massa final da fibra em g;  $ms$  – Massa da fibra seca em g.

O procedimento para a determinação da Porosidade é composto das seguintes etapas:

- Realiza-se uma primeira pesagem nas amostras;
- Estas amostras são então submetidas a um processo de Secagem em uma Estufa a 105 °C por 1 h;
- Depois as amostras passam 5 min em um dessecador;
- Realiza-se uma segunda pesagem das amostras obtendo-se então a massa da fibra “seca” ( $ms$ );
- Em seguida, as amostras ficam imersas em água por 20 min;
- Depois as amostras passam novamente 5 min em um dessecador;
- Finalmente, realiza-se a terceira pesagem obtendo-se a massa “final” da fibra ( $mf$ ).

Neste ensaio utilizaram-se também 3 (três) amostras de cada tipo de fibra, e os resultados são mostrados na Tab. 4.3.

**Tabela 4.3 – Resultados de Porosidade (%).**

<b>Fibra de Coco</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Média</b>
<b>F1.1</b>	27,562 %	30,479 %	-2,234 %	<b>29,02 %</b>
<b>F1.2</b>	13,869 %	11,328 %	13,245 %	<b>12,81 %</b>
<b>F2.1</b>	88,284 %	118,864 %	105,067 %	<b>104,07 %</b>
<b>F2.2</b>	123,473 %	136,492 %	112,067 %	<b>124,01 %</b>

**Obs:** Foi desconsiderado o resultado da terceira amostra de F1.1 no cálculo da média, pois o tempo de exposição da fibra à água, não foi suficiente para a sua total absorção.

#### 4.2.4 – Densidade

A densidade das fibras também foi determinada através da pesagem das mesmas e da medição dos seus volumes em um picnômetro, mostrado na Fig. 4.2 (Método de Picnometria), obtendo-se valores de densidade da fibra no momento do início do ensaio e após 24 h, tempo este necessário para uma melhor estabilização do volume nos picnômetros.



Figura 4.2 – Picnômetros.

O procedimento experimental divide-se nas seguintes etapas:

- Realiza-se a pesagem do picnômetro vazio;
- Em seguida, realiza-se a pesagem do Picnômetro mais a fibra de coco, obtendo-se a massa da fibra através da subtração da massa do picnômetro;
- Coloca-se água no picnômetro;
- Realiza-se a pesagem do picnômetro, mais a fibra de coco, mais a água, obtendo-se a massa de água adicionada através da subtração das massas já conhecidas;
- Determina-se o volume de água adicionada pela relação entre massa, volume e densidade ( $m = \frac{m}{V}$ ), que no caso da água é conhecida e igual a 1000 kg/m<sup>3</sup>;

- Observa-se o volume total do picnômetro e subtrai-se o volume de água determinado anteriormente, obtendo-se assim o volume da fibra de coco;
- Finalmente, conhecendo-se o volume e a massa da fibra, determina-se sua densidade.

Neste ensaio utilizaram-se três amostras de cada tipo de fibra, porém, só existiam disponíveis dois picnômetros, possibilitando a realização do ensaio apenas com duas amostras simultaneamente. Os resultados são mostrados na Tab. 4.4.

**Tabela 4.4 – Resultados de Densidade (kg/m<sup>3</sup>).**

<b>Fibra de Coco</b>	<b>Medição</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Média</b>
<b>F1.1</b>	Instantânea	1074,4	1074,4	<b>1074,4</b>
	Após 24 h	1262,1	1246,1	<b>1254,1</b>
<b>F1.2</b>	Instantânea	1049,9	1027,2	<b>1038,5</b>
	Após 24 h	1326,2	1359,9	<b>1343,1</b>
<b>F2.1</b>	Instantânea	1026,2	1066,2	<b>1046,2</b>
	Após 24 h	1196,7	1174,9	<b>1185,8</b>
<b>F2.2</b>	Instantânea	896,9	969,6	<b>933,25</b>
	Após 24 h	1004,6	1018,9	<b>1011,75</b>

#### **4.2.5 – Tensão de Ruptura**

Para os ensaios de determinação da tensão de ruptura da fibra, foram tomadas dez amostras de feixes fibrosos para cada corrida experimental. Em cada amostra de 10 cm de comprimento, com o auxílio de um microscópio óptico com lente reticulada de 1 cm, aumento de 40 vezes e subdivisões de 10 mm, fez-se três medições do diâmetro (duas nas extremidades e uma no meio), para o cálculo do diâmetro “aparente” do feixe fibroso (considerado como tendo seção circular).

O ensaio de tração foi efetivado com intervalos entre mordentes (garras do equipamento de resistência à tração, marca Regmed, Tipo RE/A30) de 9 cm. Os ensaios nos quais os corpos de prova rompiam próximos à garra eram desconsiderados, tomando-se outra amostra. As condições do ambiente no local dos

ensaios foram: temperatura média de 25 °C e 60% de umidade relativa. Alguns equipamentos utilizados neste experimento estão ilustrados nas Figuras 4.3 e 4.4.



Figura 4.3 – Máquina de tração e microscópio óptico.



Figura 4.4 – Detalhe das garras e da fibra (máquina de tração).

Para o cálculo da Tensão de Ruptura ( $s$ ) foi utilizado o conceito de tensão normal:

$$s = \frac{Fr}{S} , \quad (4.3)$$

sendo:  $s$  – Tensão de Ruptura em  $\text{gf}/\text{mm}^2$ ;  $Fr$  – Força de Ruptura em  $\text{gf}$ ;  $S$  – Área da seção circular “aparente” da fibra em  $\text{mm}^2$ . Os resultados são mostrados nas Tabelas 4.5 e 4.6.

**Tabela 4.5 – Resultados da tensão de ruptura para a fibra Tipo F1.1.**

<b>Amostra</b>	<b>Força de Ruptura (gf)</b>	<b>Área da Seção (<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>Tensão de Ruptura (<math>\text{gf}/\text{mm}^2</math>)</b>
<b>1</b>	1000,0	0,950	<b>1052,63</b>
<b>2</b>	400,5	0,950	<b>421,58</b>
<b>3</b>	700,5	0,503	<b>1392,64</b>
<b>4</b>	500,5	0,785	<b>637,58</b>
<b>5</b>	600,0	0,636	<b>943,39</b>
<b>6</b>	900,0	1,327	<b>678,22</b>
<b>7</b>	800,0	1,539	<b>519,82</b>
<b>8</b>	550,5	0,636	<b>865,57</b>
<b>9</b>	750,0	1,539	<b>487,32</b>
<b>10</b>	700,5	0,785	<b>892,36</b>

**Tabela 4.6 – Resultados da tensão de ruptura para a fibra Tipo F1.2.**

<b>Amostra</b>	<b>Força de Ruptura (gf)</b>	<b>Área da Seção (<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>Tensão de Ruptura (<math>\text{gf}/\text{mm}^2</math>)</b>
<b>1</b>	1100,0	1,327	<b>828,93</b>
<b>2</b>	700,0	2,270	<b>308,37</b>
<b>3</b>	600,5	0,636	<b>944,18</b>
<b>4</b>	700,0	1,767	<b>396,15</b>
<b>5</b>	850,0	1,539	<b>552,31</b>
<b>6</b>	750,5	2,011	<b>373,20</b>
<b>7</b>	900,0	1,767	<b>509,34</b>
<b>8</b>	800,0	1,131	<b>707,34</b>
<b>9</b>	400,5	0,503	<b>796,22</b>
<b>10</b>	550,5	0,636	<b>865,57</b>

Não foi possível realizar os testes de tensão de ruptura nas fibras do coco verde (Tipo F2.1 e F2.2), devido ao tamanho pequeno das fibras obtidas do processo de maceração realizado manualmente, não alcançando assim o tamanho mínimo para a fixação na máquina utilizada para o ensaio de tração. Na Tab. 4.7 são listados os valores médios da seção transversal, do diâmetro “aparente” e da tensão de ruptura das fibras analisadas.

**Tabela 4.7 – Valores médios da seção transversal, do diâmetro e da tensão de ruptura das amostras dos Tipos F1.1 e F1.2.**

<b>Tipo</b>	<b>Área da Seção Média (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro Médio (mm)</b>	<b>Tensão de Ruptura Média (gf/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>F1.1</b>	0,965	1,1	<b>789,11</b>
<b>F1.2</b>	1,3587	1,3	<b>628,16</b>

#### 4.2.6 – Alongamento Máximo

O alongamento máximo até o momento de rompimento, expresso como um percentual em relação ao comprimento inicial, foi obtido experimentalmente em máquina de resistência à tração idêntica à utilizada no ensaio de determinação da tensão de ruptura, através de:

$$A(\%) = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100, \quad (4.4)$$

sendo:  $A(\%)$  – Alongamento da Fibra;  $L_f$  – Comprimento Final em mm (após a aplicação da carga);  $L_i$  – Comprimento Inicial em mm (antes da aplicação da carga).

O comprimento das fibras do coco, após extração, foi determinado com auxílio de um “paquímetro” e os resultados das dez amostras analisadas com os valores percentuais médios obtidos, estão mostrados na Tab. 4.8.

**Tabela 4.8 – Resultados dos alongamentos máximos (%) e médios das fibras Tipo F1.1 e F1.2.**

<b>Tipo</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A9</b>	<b>A10</b>	<b>Média</b>
<b>F1.1</b>	32	15	15	25	26	31	22	26	18	19,5	<b>22,95 %</b>
<b>F1.2</b>	26,5	28	14,5	29	24	29	27	31	28	16,5	<b>25,35 %</b>



Tanto para F1.1 quanto para F1.2, o comprimento das fibras maiores variam entre 14 e 16 cm, porém, para F1.1 este tamanho corresponde a cerca de 55% do lote analisado e já para F1.2, devido aos processos industriais a que foi submetido, não corresponde a mais de 25%. As demais fibras menores, tanto de F1.1 quanto de F1.2 têm seus tamanhos entre 6 e 10 cm.

Já no caso das fibras Tipo F2.1 e F2.2, devido ao processo de maceração ao qual foram submetidas, seu tamanho não ultrapassou os 8 cm, estando a grande maioria das fibra entre 5 e 7 cm, motivo pelo qual não foi possível determinar o alongamento das mesmas, como já explicado no ensaio para determinação da tensão de ruptura.

#### **4.3 – PAINEL DE FIBRAS DE COCO**

Foram analisados painéis de três densidades ( $18 \text{ kg/m}^3$ ,  $60 \text{ kg/m}^3$  e  $130 \text{ kg/m}^3$ ) com duas espessuras cada (0,05 m e 0,10 m). Estas amostras foram produzidas pela Indústria POEMATEC de acordo com as características solicitadas, respeitando a capacidade técnica e produtiva dos equipamentos instalados. Como comentado no capítulo anterior, nestes painéis as fibras de coco estão totalmente entrelaçadas e distribuídas de forma heterogênea, não obedecendo a uma única orientação angular. Para a obtenção dos painéis com as diferentes densidades, foram feitas as seguintes combinações:

- Painel Tipo I de  $18 \text{ kg/m}^3$  – Uma única manta de  $18 \text{ kg/m}^3$ ;
- Painel Tipo II de  $60 \text{ kg/m}^3$  – Quatro mantas de  $18 \text{ kg/m}^3$  prensadas;
- Painel Tipo III de  $130 \text{ kg/m}^3$  – Oito mantas de  $18 \text{ kg/m}^3$  prensadas;

A escolha destas configurações teve o objetivo de avaliar um universo diversificado de painéis, de modo que se possa estudar a influência destas características no comportamento: físico, químico, mecânico e acústico do painel estudado.

### 4.3.1 – Densidade

Foi medida a densidade dos painéis, a fim de obter o seu valor real e conferir as especificações do produto fabricado. Neste ensaio foi utilizado um paquímetro e uma balança eletrônica (Ver Fig. 5.5) e obedecido o seguinte procedimento:

- Primeiro mede-se os corpos de prova (altura x comprimento x espessura) com um paquímetro em vários pontos com o objetivo de se obter o volume,  $V$ , da amostra;
- Pesa-se então a amostra na balança eletrônica, a fim de se obter sua massa,  $m$ ;
- Finalmente conhecendo-se o volume e a massa da amostra determina-se sua densidade ( $\rho = \frac{m}{V}$ ).



Figura 4.5 – Ensaio para determinação da densidade dos painéis.

Nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11, tem-se os resultados obtidos para os três tipos de painéis ( $18 \text{ kg/m}^3$ ,  $60 \text{ kg/m}^3$  e  $130 \text{ kg/m}^3$ ) e na Tab. 4.12 os valores médios de todos os painéis.

Tabela 4.9 – Densidades para os painéis Tipo I ( $18 \text{ kg/m}^3$ ).

Painel I	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	37 g	47 g	38 g
Dimensões	$350 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$	$355 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$	$355 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$
Densidade	$21,14 \text{ kg/m}^3$	$26,48 \text{ kg/m}^3$	$21,41 \text{ kg/m}^3$

Tabela 4.10 – Densidades para os painéis Tipo II (60 kg/m<sup>3</sup>).

Painel II	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	194 g	178 g	180 g
Dimensões	343x101x62 mm <sup>3</sup>	347x103x66 mm <sup>3</sup>	344x98x62 mm <sup>3</sup>
Densidade	90,32 kg/m <sup>3</sup>	75,46 kg/m <sup>3</sup>	86,12 kg/m <sup>3</sup>

Tabela 4.11 – Densidades para os painéis Tipo III (130 kg/m<sup>3</sup>).

Painel III	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	268 g	244 g	253 g
Dimensões	344x98x48 mm <sup>3</sup>	345x100x45 mm <sup>3</sup>	350x100x48 mm <sup>3</sup>
Densidade	165,62 kg/m <sup>3</sup>	157,16 kg/m <sup>3</sup>	150,59 kg/m <sup>3</sup>

Tabela 4.12 – Densidades médias de todos os painéis.

Painel	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Percentual (%)
Tipo I	23,01	21,77
Tipo II	83,97	28,54
Tipo III	157,79	17,61

O desvio percentual encontrado é uma relação entre o valor nominal fornecido pela indústria e o valor real das densidades obtidas neste experimento. Os resultados obtidos neste experimento tiveram desvios consideráveis em relação aos valores nominais, necessitando então que a produção destes painéis tenha um melhor acompanhamento e controle destes parâmetros. Nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8, observa-se o comportamento dos painéis de diferentes densidades e mesma espessura, quando submetidos a uma mesma força de compressão.

Figura 4.6 – Compressão lateral do painel de 18 kg/m<sup>3</sup>.



Figura 4.7 – Compressão lateral do painel de 60 kg/m<sup>3</sup>.



Figura 4.8 – Compressão lateral do painel de 130 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3.2 – Gramatura

Foi também medida a gramatura dos painéis, a fim de obter o seu valor real e conferir as especificações do produto fabricado. Neste ensaio, também foram utilizados um paquímetro e uma balança eletrônica e obedecido o seguinte procedimento:

- Primeiro mede-se os corpos de prova (altura x comprimento) com um paquímetro em vários pontos com o objetivo de se obter a área,  $A$ , da amostra;
- Pesa-se então a amostra na balança eletrônica, a fim de se obter sua massa,  $m$ ;
- Finalmente conhecendo-se a área e a massa da amostra determina-se sua gramatura ( $G = \frac{m}{A}$ ).

Nas Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15, tem-se os resultados de gramatura obtidos para os três tipos de painéis (18 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup> e 130 kg/m<sup>3</sup>) e na Tab. 4.16 os valores médios de todos os painéis.

Tabela 4.13 – Gramaturas para os painéis Tipo I (18 kg/m<sup>3</sup>).

Painel I	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	37 g	47 g	38 g
Dimensões	350x100 mm <sup>2</sup>	355x100 mm <sup>2</sup>	355x100 mm <sup>2</sup>
Gramatura	1057,14 g/m <sup>2</sup>	1323,94 g/m <sup>2</sup>	1070,42 g/m <sup>2</sup>

Tabela 4.14 – Gramaturas para os painéis Tipo II (60 kg/m<sup>3</sup>).

Painel II	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	194 g	178 g	180 g
Dimensões	343x101 mm <sup>2</sup>	347x103 mm <sup>2</sup>	344x98 mm <sup>2</sup>
Gramatura	5599,98 g/m <sup>2</sup>	4980,27 g/m <sup>2</sup>	5339,34 g/m <sup>2</sup>

Tabela 4.15 – Gramaturas para os painéis Tipo III (130 kg/m<sup>3</sup>).

Painel III	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa	268 g	244 g	253 g
Dimensões	344x98 mm <sup>2</sup>	345x100 mm <sup>2</sup>	350x100 mm <sup>2</sup>
Gramatura	7949,69 g/m <sup>2</sup>	7072,46 g/m <sup>2</sup>	7228,57 g/m <sup>2</sup>

Tabela 4.16 – Gramaturas médias de todos os painéis.

Painel	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Desvio Percentual (%)
Tipo I	1150,50	21,77
Tipo II	5306,53	32,16
Tipo III	7416,91	12,36

Foi fornecida a densidade nominal e para o cálculo da gramatura teórica utilizaram-se as espessuras de 50 mm para as amostras de 18 kg/m<sup>3</sup> e 130 kg/m<sup>3</sup> e 60 mm para as amostras de 60 kg/m<sup>3</sup>. Novamente o desvio percentual encontrado é uma relação entre o valor nominal (fabricante) e o valor real das gramaturas obtidas neste experimento, e assim como para a densidade, os resultados obtidos tiveram desvios consideráveis.

#### 4.3.3 – Flamabilidade

O ensaio de flamabilidade consiste em determinar as características de queima (medir a velocidade de combustão) dos painéis de fibra de coco. Neste

ensaio também foram utilizados um paquímetro, uma cabine de combustão, um suporte para o corpo de prova, uma bandeja, um bico de busen, um cronômetro, uma capela de exaustão e um isqueiro e obedecido o seguinte procedimento, baseado na Norma NBR 9178 – Determinação das Características de Queima:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;
- Aciona-se o sistema de exaustão da capela (Ver Fig. 4.9);



**Figura 4.9 – Capela de exaustão com a cabine de combustão.**

- Posiciona-se o corpo de prova entre os suportes da cabine de combustão (Ver Fig. 4.10);



**Figura 4.10 – Detalhe da cabine de combustão.**

- Abre-se a válvula de gás, acendendo-se o bico de busen (Ver Fig. 4.11). Deve-se então regular a chama para a altura de 38 mm. A distância entre a extremidade superior do bico de busen e a superfície inferior da amostra deve ser de 20 mm;



**Figura 4.11 – Detalhe da cabine de combustão com o bico de busen aceso.**

- Coloca-se a chama em contato com uma das extremidades do corpo de prova e após 15 s a válvula de gás deve ser fechada (Ver Fig. 4.12);



**Figura 4.12 – Ensaio de flamabilidade em andamento.**

- O cronômetro é acionado assim que a chama atingir a primeira marca de referência, localizada no trilho do suporte do corpo de prova;
- A medida do tempo de queima termina no momento em que a chama atingir a marca de referência ou quando a mesma se extinguir. Se isto acontecer, deve-se medir a distância de queima até a posição onde a chama se apagou. A velocidade de queima deve ser expressa em milímetros por minuto e é determinada por:

$$Vq = \frac{L}{t} \times 60, \quad (4.5)$$

sendo:  $Vq$  – Velocidade de queima em mm/min;  $L$  – Comprimento de progressão da chama em mm;  $t$  – Tempo de progressão da chama entre as duas marcas de referência em s. No caso da amostra não queimar ou se a chama se extinguir antes de atingir a primeira marca de referência, não sendo possível portanto, medir o tempo de queima, considera-se que a velocidade de queima é 0 mm/min.

É importante destacar que a câmara deve ser limpa após o ensaio de cada corpo de prova e que quando se realiza uma série de testes consecutivos, deve-se assegurar que a câmara de combustão e o suporte da amostra não estão a uma temperatura acima de 30 °C, antes do início do próximo teste.

Nas Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19, tem-se os resultados da velocidade de queima obtidos para os três tipos de painéis com aproximadamente 0,5 m de espessura (18 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup> e 130 kg/m<sup>3</sup>) e na Tab. 4.20 os valores médios de todos os painéis.

**Tabela 4.17 – Velocidades de queima para os painéis Tipo I (18 kg/m<sup>3</sup>).**

<b>Painel I</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>
<b>Tempo</b>	Não Apagou	Não Apagou	Não Apagou
<b>Extensão</b>	356 mm (Total)	356 mm (Total)	356 mm (Total)
<b>Vel. Queima</b>	-	-	-



Tabela 4.18 – Velocidades de queima para os painéis Tipo II (60 kg/m<sup>3</sup>).

Painel II	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
<b>Tempo</b>	Não Apagou	135 s	78 s
<b>Extensão</b>	356 mm (Total)	356 mm (Total)	356 mm (Total)
<b>Vel. Queima</b>	-	158,22 mm/min	273,85 mm/min

Tabela 4.19 – Velocidades de queima para os painéis Tipo III (130 kg/m<sup>3</sup>).

Painel III	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
<b>Tempo</b>	110 s	65 s	70 s
<b>Extensão</b>	90 mm	38 mm	35 mm
<b>Vel. Queima</b>	49,09 mm/min	35,08 mm/min	30,00 mm/min

Tabela 4.20 – Velocidades de queima médias de todos os painéis.

Painel	Velocidade de Queima (mm/min)
<b>Tipo I</b>	-
<b>Tipo II</b>	216,04
<b>Tipo III</b>	38,05

Em algumas amostras observa-se que o fogo não se extinguiu (Tipo I), apresentando queima completa ou queima interna (sem chama). Levando-se em consideração as especificações técnicas para o banco de automóveis confeccionados em fibra de coco de diversos fabricantes como General Motors, Daimler Chrysler e Mercedes-Benz, onde a velocidade máxima de queima permitida é de 100 mm/min, pode-se então concluir que os painéis de 18 kg/m<sup>3</sup> e 60kg/m<sup>3</sup>, não apresentaram um bom resultado, visto que os valores de velocidade de queima desses painéis ficaram acima dos permitidos. Já o painel de 130 kg/m<sup>3</sup> teve um desempenho bastante satisfatório, por apresentar valores de velocidade de queima bem abaixo dos limites estabelecidos pelos fabricantes pesquisados.

O motivo pelo qual as amostras não apresentaram um bom desempenho pode estar relacionado com a pequena quantidade de “anti-chamas” aplicado nas amostras, podendo ser solucionado com aplicação de uma maior quantidade do produto nos painéis. De modo geral, o experimento transcorreu de forma satisfatória, visto que baseado nos resultados apresentados, pôde-se estimar

a quantidade adequada de “anti-chamas” para ter um produto mais seguro, no que diz respeito ao seu potencial de queima.

#### 4.3.4 – Indentação

Foi também realizado o ensaio de indentação que tem como objetivo a determinação da força necessária para se produzir uma deflexão pré-fixada sobre uma amostra de painel de fibra de Coco, quando aplicada sobre uma determinada área. Neste ensaio foram utilizados um paquímetro e um dispositivo para medição da força de indentação, e obedecido o seguinte procedimento, baseado na Norma NBR 9176 – Determinação da Força de Indentação:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 16 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 5$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;
- O corpo de prova deve ser colocado sobre a placa de apoio de modo a ficar centrado sob o “indentador” (Ver Fig. 4.13);



Figura 4.13 – Indentador.

- A ponta do indentador deve ser abaixada sobre o corpo de prova até estabelecer uma pré-carga só com o peso da mesma. A distância

existente entre a placa de apoio e a ponta do indentador, após a pré-carga, é considerada como sendo a espessura original do corpo de prova;

- Logo após a pré-carga, será aplicada então uma força de 5 kgf (aproximadamente 50 N), por meio de um peso (corpo metálico maciço), que é colocado acima da ponta do indentador, realizando um esforço de compressão sobre o corpo de prova (Ver Fig. 4.14);



**Figura 4.14 – Aplicação da carga de 5 kgf (indentador).**

- Passados 30 s, mede-se a redução da espessura original do corpo de prova através de um paquímetro no próprio equipamento.

Na norma NBR 9176, normalmente mede-se a força necessária para provocar uma deflexão pré-definida, porém, neste caso, manteve-se uma carga pré-definida e mediu-se a deflexão, devido às limitações dos equipamentos utilizados. Nas Tabelas 4.21, 4.22 e 4.23, tem-se os resultados das deflexões provocadas pela aplicação da carga de 5 kgf obtidos para os três tipos de painéis com aproximadamente 0,5 m de espessura ( $18 \text{ kg/m}^3$ ,  $60 \text{ kg/m}^3$  e  $130 \text{ kg/m}^3$ ) e na Tab. 4.24, os valores médios de todos os painéis.

Tabela 4.21 – Deflexão para os painéis Tipo I (18 kg/m<sup>3</sup>).

Painel I	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
<b>Espessura. Inicial</b>	25 mm	20 mm	20 mm
<b>Espessura. Final</b>	1 mm	1 mm	1 mm
<b>Deflexão</b>	<b>24 mm</b>	<b>19 mm</b>	<b>19 mm</b>

Tabela 4.22 – Deflexão para os painéis Tipo II (60 kg/m<sup>3</sup>).

Painel II	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
<b>Espessura. Inicial</b>	47 mm	46 mm	45 mm
<b>Espessura. Final</b>	27 mm	23 mm	23 mm
<b>Deflexão</b>	<b>20 mm</b>	<b>23 mm</b>	<b>22 mm</b>

Tabela 4.23 – Deflexão para os painéis Tipo III (130 kg/m<sup>3</sup>).

Painel III	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
<b>Espessura. Inicial</b>	49 mm	49 mm	48 mm
<b>Espessura. Final</b>	39 mm	38 mm	35 mm
<b>Deflexão</b>	<b>10 mm</b>	<b>11 mm</b>	<b>13 mm</b>

Tabela 4.24 – Deflexões médias de todos os painéis.

Painel	Deflexão (mm)
<b>Tipo I</b>	20,67
<b>Tipo II</b>	21,67
<b>Tipo III</b>	11,33

A deflexão obtida para o painel do Tipo I deve ser desconsiderada, em primeiro lugar, pelo fato da espessura inicial ser menor que metade da espessura do corpo de prova antes da pré-carga, demonstrando que esta pré-carga deve ser menor para este tipo de painel e, em segundo lugar, pelo fato da ponta após a aplicação da carga de 5 kgf ter percorrido o curso máximo, ou seja, praticamente “anulando” a espessura do corpo de prova e demonstrando também que a carga está muito acima da capacidade do painel.

A carga de 5 kgf foi escolhida baseada no tipo de aplicação dos painéis e no tipo e ordem dos esforços concentrados aos quais estarão submetidos durante seu uso.

A partir dos resultados obtidos, foi constatado que, para os painéis com menor densidade, os valores de deformação são maiores, como já era esperado. Também foi feita uma observação em relação aos pontos de aplicação do indentedor, visto que os valores obtidos neste ensaio foram pontuais, ou seja, tirados de um único ponto (no centro da amostra) e como o painel de fibra de coco, diferente do esperado na fase de confecção dos mesmos, não se comportou como um material homogêneo, supõe-se que as deformações ao longo do seu comprimento são diferentes. Sendo assim, pode-se concluir que para melhorar a precisão dos valores obtidos de deformações médias e diminuir o erro experimental neste ensaio, faz-se necessária a medição em diversos pontos do corpo de prova.

Os resultados apresentados contribuem para avaliar qual painel apresenta maior facilidade de fixação em áreas mais acidentadas, visto que aqueles que apresentam maiores deformações certamente têm maior poder de conformação, apresentando maior facilidade de fixação, utilizando-se alguma espécie de cola superficial, enquanto os que apresentam pequenos valores de deformação possuem então maior dificuldade de conformação e de fixação por colagem, resistem melhor a molduras de fixação e ao contato de objetos e pessoas.

#### **4.3.5 – Olfativo**

O ensaio Olfativo destina-se à avaliação do comportamento olfativo sob influência de temperatura e de clima. Ele foi realizado em painéis de fibra de coco que entram em contato com uma corrente de ar conduzida até os mesmos. Neste ensaio foi utilizado uma estufa com ar circulante e um recipiente de vidro de 1 litro com vedações e tampa olfativamente neutras, e obedecido o seguinte procedimento, baseado na Norma DIN 50011 – *Testing of Materials, Structural Components and Equipment; Hot Cabinets; Directions for the Storage of Specimens:*

- Primeiramente os corpos de prova devem ser retirados da região central da peça e devem apresentar  $50 \pm 5 \text{ cm}^3$ , segundo o que a norma estabelece para o recipiente de 1 L e para materiais isolantes,

folhas, couro, tapeçaria, espumas, carpetes e outros materiais de área extensa que são aplicados, como é o caso dos painéis de fibra de coco. Se a espessura de um material homogêneo perfizer mais de 20 mm, o corpo de prova deve ser ajustado para a espessura de 20 mm. Os componentes tipos “sanduíche” devem ser testados na sua composição completa. No caso de peças pequenas, podem ser eventualmente utilizadas várias unidades, para alcançar a quantidade de corpo de prova exigida;

- Em seguida, os corpos de prova devem ser condicionados por 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C devendo ser mantidos sob esta condição até o momento do ensaio;
- Os corpos de prova são então armazenados em recipientes com volume de 1 L para execução do ensaio, de forma que os mesmos permaneçam em posição oblíqua, à meia altura dos recipientes, fixados pela tensão própria;
- A fim de se evitar o escapamento de ar, deve-se forrar as tampas antes e fechar os recipientes com papel de filtro e os mesmos devem ser colocados com tampa para baixo;
- Em seguida, os corpos de prova são armazenados por 24 h a 70 °C em estado seco;
- Por fim, é feita a avaliação com 6 pessoas diferentes.

Os resultados obtidos após a avaliação disponibilizada pela Indústria POEMATEC, realizada na Alemanha, foram que todos os painéis apresentam apenas um leve odor característico do produto e estão livre de odores adicionais. Assim, as amostras dos painéis apresentaram um ótimo desempenho, o que confirma um bom comportamento olfativo dos painéis de fibra de coco.

#### **4.3.6 – Fogging (FOG)**

Outro ensaio realizado foi o de *Fogging* (FOG) que tem como objetivo reproduzir o fenômeno de evaporação e condensação das substâncias contidas nos materiais, fenômeno este que ocorre, por exemplo, em materiais utilizados no interior dos automóveis quando submetidos a temperaturas elevadas.

Existem dois métodos que, apesar de diferentes, são realizados nos mesmos equipamentos, onde uma amostra é posicionada na base de um recipiente com um termostato. O recipiente é aquecido e a condensação é coletada por um vidro (no caso do teste reflectométrico) ou uma folha de alumínio (no caso do teste gravimétrico) posicionado no topo do recipiente.

O método realizado que mantém as amostras por 3 h a 100 °C, conforme descrito na DIN 75201, é um teste severo e também difícil de reproduzir, devido à dificuldade de manter a temperatura constante em 100 °C. Neste caso, valores entre 50 e 60% de reprodução e manutenção destas condições são muito bons, enquanto valores acima de 60% são muito difíceis de se obter. O método conduzido por 6 h a 70 °C é o sistema mais representativo, obtendo-se valores de até 80% de reprodução e manutenção destas condições, sendo este método menos sensível a pequenas variações.

O resultado do teste gravimétrico, padronizado na norma DIN 75201, é definido de acordo com a quantidade de material condensado sobre a folha de alumínio sendo expresso em miligramas. No teste reflectométrico é medida a refletividade do vidro antes e depois da condensação e a relação entre as medidas é expressa em percentual. Infelizmente, não há valores padronizados e cada cliente, dependendo da utilização que dará ao produto, estabelece seus próprios parâmetros e especificações, variando em alguns casos também as condições do ensaio.

Nos resultados obtidos para todos os painéis, tanto para o teste gravimétrico quanto para o teste reflectométrico, que representam a soma de todas as substâncias encontradas e identificadas em ppm, ou seja, a soma da quantidade de partículas contidas nos gases evaporados e condensados através das amostras, não existiam partículas indesejáveis em quantidades acima das permitidas (na grande maioria dos clientes, 1 ppm). Estes testes foram realizados na Alemanha para um dos produtos produzidos pela Indústria POEMATEC, utilizado em automóveis e com características de composição semelhantes a dos painéis. Assim, as amostras foram classificadas como aprovadas e de boa qualidade devido à não emissão de substâncias prejudiciais à saúde humana e que inviabilizem o uso, visto que algumas destas substâncias quando no ambiente, podem dificultar a visão através de janelas e vidros ou causar intoxicações se absorvidas em grandes quantidades.

#### **4.3.7 – Envelhecimento**

O teste de envelhecimento tem por objetivo avaliar a capacidade de deterioração do material em determinadas condições ambientais. Neste ensaio foi utilizado uma estufa com ar circulante, e obedecido o seguinte procedimento:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos três dias, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 5$  % e devem ser mantidos sob estas condições até a hora do ensaio;
- Em seguida, são colocados em uma estufa na temperatura de 100 °C, por um período de 72 h com ar circulante;
- Finalmente, são avaliados.

Neste ensaio, em todos os painéis, observou-se que os mesmos não desfolharam, não apresentaram fibras quebradas e não ficaram “melados”. Sendo assim, os resultados obtidos são considerados satisfatórios, devido aos painéis permanecerem com suas características iniciais inalteradas, depois de serem expostos a condições ambientais adversas.

#### **4.3.8 – Fungamento**

O teste de fungamento tem como objetivo, detectar o aparecimento de fungos, bactérias ou qualquer organismo que possa apresentar risco à saúde humana em determinadas condições ambientais. Basicamente consiste em climatizar amostras dos painéis a  $23 \pm 2$  °C e 50 % de umidade relativa do ar durante, no mínimo, 48 h e, em seguida, analisá-las.

Os painéis analisados não apresentaram nenhum tipo de anormalidade, pois não foram detectadas bactérias e leveduras e a quantidade de fungos foi menor do que 80 colônias/ml.



#### 4.3.9 – Porosidade

O ensaio de porosidade consiste em determinar a percentagem de vazios dos painéis. A porosidade relaciona basicamente os volumes ocupados pelas partes sólidas e fluidas, tornando-se então um parâmetro importante nas teorias de propagação sonora em materiais porosos. Para determinação desta propriedade foram utilizados uma prensa hidráulica, um “porta-amostras” cilíndrico e um paquímetro e adotou-se o seguinte procedimento:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;
- Mede-se a espessura inicial da amostra e coloca-se a mesma no interior do “porta-amostras”. Os corpos de prova devem encaixar-se perfeitamente no “porta-amostras”, ou seja, para o presente caso, devem ter o mesmo diâmetro e forma cilíndrica;
- Com a ajuda de uma superfície rígida circular sobre a amostra e uma extensão (Ver Fig. 4.15), que está conectada a uma prensa hidráulica (Ver Fig. 4.16), inicia-se a compressão da amostra de forma a eliminar os vazios e medir o volume apenas da parte sólida (Ver Fig. 4.17), sem danificá-la;



Figura 4.15 – Extensão, porta-amostras e superfície rígida utilizadas no ensaio de porosidade.



Figura 4.16 – Prensa hidráulica utilizada no ensaio de porosidade.



Figura 4.17 – Compressão da amostra durante o ensaio de porosidade.

- Mede-se em seguida a altura da amostra comprimida;
- Sabendo-se o volume inicial (total da amostra) e o volume final (parte sólida) determina-se a porosidade ( $W$ ) que é definida como a razão entre o volume ocupado pela parte fluida (volume dos vazios) e o volume total do material:

$$\Omega = \frac{V_f}{V_a}, \quad (4.6)$$

sendo:  $W$  – Porosidade (adimensional);  $V_f$  – Volume da parte fluida no interior da amostra em  $m^3$ ;  $V_a$  – Volume total da amostra em  $m^3$ . A porosidade pode também ser expressa em função do volume da fase sólida pela equação:

$$\Omega = 1 - \frac{V_s}{V_a}, \quad (4.7)$$

sendo:  $V_s$  – Volume da parte sólida da amostra em  $m^3$ .

A porosidade dos painéis, assim como as demais propriedades apresentadas adiante (resistividade ao fluxo, tortuosidade, módulo de elasticidade dinâmico e coeficiente de absorção), variam, não só em função da densidade, mas também em função da espessura dos painéis. Sendo assim, faz-se necessário adotar a nomenclatura descrita na Tab. 5.1, em que se observa primeiramente, a divisão de cada tipo dos painéis de fibra de coco (I, II ou III), em dois grupos (0,05 e 0,10 m de espessura) e também a inclusão de dois novos tipos de painéis de espuma (IV e V), amplamente comercializados. Entretanto, devido a grande quantidade de ensaios experimentais já realizados, elegeram-se apenas três amostras dos painéis Tipo III.2 e IV para a medição da porosidade, tortuosidade e do módulo de elasticidade dinâmico. A escolha dos painéis Tipo III.2 aconteceu devido aos mesmos terem alcançado, dentre os painéis de fibras de coco, os melhores valores de coeficiente de absorção (Ver Capítulo 5). Os painéis Tipo IV, também foram escolhidos, por serem, dentre os painéis de espuma, os que têm maiores semelhanças geométricas com os painéis Tipo III.2. Destaca-se também, que na realização dos ensaios numéricos (Ver Capítulo 6) e simulação do comportamento acústico dos painéis Tipo III.2 e IV, tais propriedades (porosidade, tortuosidade e módulo de elasticidade dinâmico) são fundamentais.

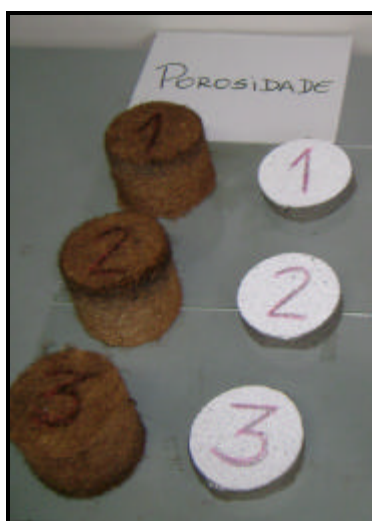


Figura 4.18 – Amostras para o teste de porosidade.

Na Tab. 4.25, tem-se os resultados de porosidade médios com os desvios padrão obtidos para os dois tipos de painéis.

Tabela 4.25 – Porosidade para os painéis Tipo III.2 e IV.

Painel	Porosidade Média	Desvio Padrão
Tipo III.2	0,8148	-
Tipo IV	0,9532	0,0191

Durante a realização deste ensaio, constatou-se uma grande dificuldade em retirar as amostras de fibra de coco do interior do “porta-amostras”, devido à compactação do material (Ver Fig. 4.19), o que aumentou consideravelmente o tempo de realização do ensaio. Este fato restringiu o experimento à medição de apenas uma amostra de fibra de coco. Por isso, optou-se em determinar a porosidade dos painéis de fibra de coco através de um segundo procedimento que, através de diversos experimentos, demonstrou chegar aos mesmos resultados do primeiro método, porém, em um tempo de execução consideravelmente menor.



Figura 4.19 – Amostras de fibra de coco compactadas após o ensaio de porosidade.

Para o segundo método foram utilizados, um bequer de 2000 ml e uma proveta de 500 ml e adotou-se o seguinte procedimento:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;
- Em seguida, determina-se o volume total da amostra,  $V_a$ , a partir de suas dimensões;

- Depois, coloca-se uma quantidade de água conhecida e suficiente para imergir a amostra no beker;
- Inserindo a amostra no interior do beker, mede-se o volume de água deslocado com a proveta (Ver Fig. 4.20). O volume deslocado é o volume da parte sólida,  $V_s$ , que será então utilizado na Eq. 4.7 mostrada anteriormente para a determinação da porosidade.



Figura 4.20 – Amostra imersa no beker e, ao lado, proveta para medição do volume deslocado.

Na Tab. 4.26, tem-se o resultado de porosidade médio com o desvio padrão obtido para o painel de fibra de coco.

Tabela 4.26 – Porosidade para os painéis Tipo III.2.

Painel	Porosidade Média	Desvio Padrão
Tipo III.2	0,8571	0,0047

A porosidade dos materiais tipicamente utilizados em controle de ruído, tais como espumas e fibras, é normalmente alta, fato este ao qual os resultados estão de acordo. É importante lembrar que parte da energia dissipada em um material poroso resulta do movimento relativo entre as fases sólida e fluida e para que isto ocorra é necessário que os poros sejam abertos, isto é, estejam conectados entre si. Desta forma, é possível encontrar materiais de alta porosidade, mas que, por serem formados exclusivamente por poros fechados, não possuem boas características acústicas.

#### 4.3.10 – Resistividade ao Fluxo

O ensaio de resistividade ao fluxo consiste em determinar a razão entre a resistência ao fluxo específica e a espessura do material, o que em nível microscópico está relacionada com a formação de uma camada viscosa à medida que o fluido desloca-se no interior dos poros ou entre as fibras. A resistência ao fluxo específica é definida pela razão entre a variação da pressão medida entre os dois lados do material analisado e a velocidade linear do fluxo de ar através do mesmo. Desta forma, a resistividade ao fluxo é considerada uma medida do acoplamento viscoso entre as partes fluidas e sólidas do material, sendo então uma medida para dissipação viscosa do som.

Para determinação desta propriedade foram utilizados um compressor de ar, uma bancada desenvolvida para a determinação da diferença de pressão antes e após a amostra investigada (Ver Fig. 4.21), um micro-manômetro e um rotâmetro.

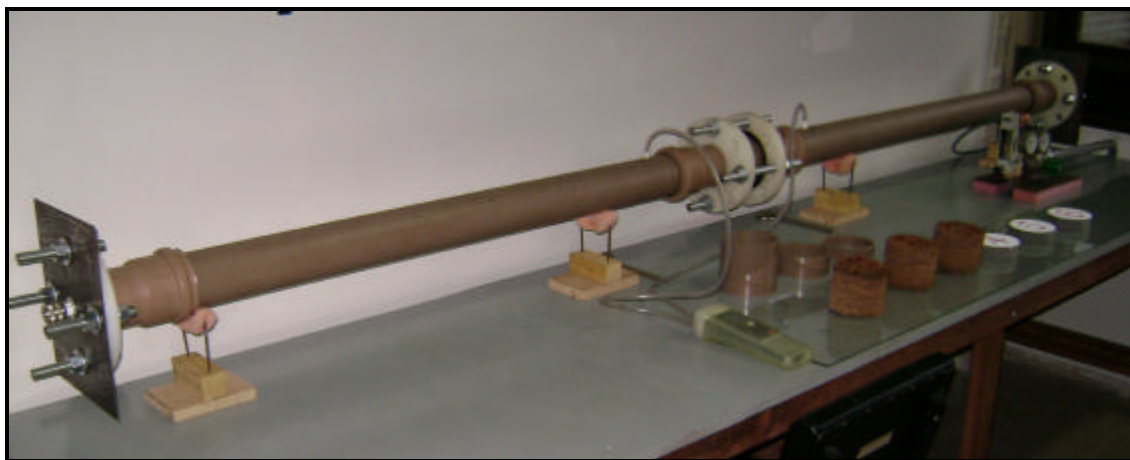


Figura 4.21 – Bancada para medição da resistividade ao fluxo.

O procedimento experimental baseou-se na Norma ASTM C 522-03 – *Standard Test Method for Airflow of Acoustical Materials*, obedecendo-se o seguinte procedimento:

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;

- Com a bancada interligada à rede de ar comprimido, ao rotâmetro e ao micro-manômetro (Ver Fig. 4.22), coloca-se o corpo de prova de espessura e área da seção transversal conhecidas, no “porta-amostras”;

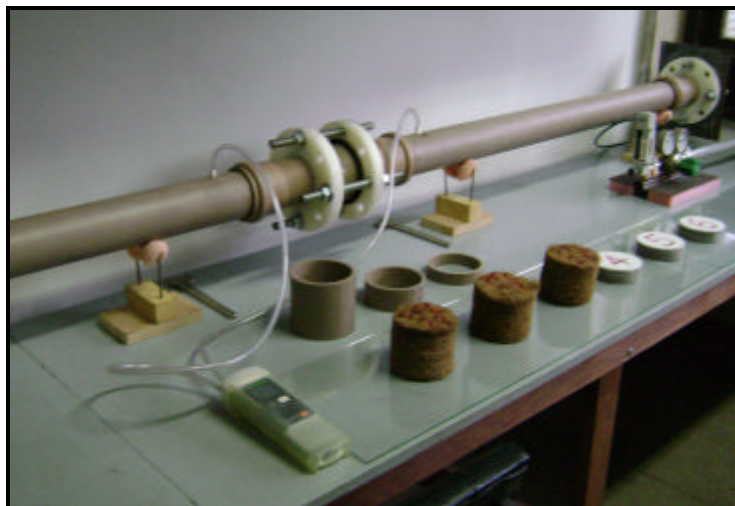


Figura 4.22 – Detalhe do material utilizado na bancada para medição da resistividade ao fluxo.

- Regula-se, no rotâmetro (Ver Fig. 4.23), a vazão de tal forma que a velocidade do fluxo através da amostra não ultrapasse 50 mm/s;



Figura 4.23 – Detalhe do rotâmetro na bancada para medição da resistividade ao fluxo.

- Após a estabilização do fluxo, mede-se a diferença de pressão e a vazão na amostra, determinando-se a resistividade ao fluxo:

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \times \frac{S}{e}, \quad (4.8)$$

sendo:  $R$  – Resistividade ao Fluxo em Rayls/m;  $\Delta P$  – Diferença de pressão (antes e após a amostra) em Pa;  $Q$  – Vazão de ar através da amostra em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $S$  – Área da seção transversal da amostra em  $\text{m}^2$ ; e  $e$  – Espessura da amostra em m.

Neste ensaio de resistividade ao fluxo foram analisadas três amostras, novamente apenas dos Painéis do Tipo III.2 e do Tipo IV (Ver Fig. 4.24), pelos mesmos motivos explicados no item anterior do ensaio de porosidade.



Figura 4.24 – Amostras para o teste de resistividade ao fluxo.

Na Tab. 4.27, tem-se os resultados de resistividade ao fluxo médios com os desvios padrão obtidos para os dois tipos de painéis.

Tabela 4.27 – Resistividade ao fluxo para os painéis Tipo III.2 e IV.

Painel	Resistividade ao Fluxo	
	Média (Rayls/m)	Desvio Padrão
Tipo III.2	3439,54	273,29
Tipo IV	6473,21	804,81

Os resultados de resistividade ao fluxo mostraram-se muito sensíveis a pequenas variações de pressão e vazão, logo, recomenda-se realizar outras medições com um número maior de amostras e utilizando-se equipamentos mais precisos para a determinação do diferencial de pressão e a exata vazão de ar que atravessa a amostra.



### 4.3.11 – Tortuosidade

O ensaio de tortuosidade busca quantificar o acoplamento inercial das partes sólida e fluida de um material poroso relativo à deflexão do fluido nas paredes dos poros e os efeitos de aceleração associados às expansões e contrações dos poros. A tortuosidade, considerada como sendo uma propriedade do esqueleto do material poroelástico, é uma medida do desvio axial dos poros da direção de propagação da onda através do material e da não uniformidade da seção transversal dos poros ao longo do seu comprimento. Desta forma, pode-se afirmar que a resistividade ao fluxo discutida anteriormente, está relacionada aos efeitos viscosos do escoamento, enquanto que a tortuosidade está relacionada aos efeitos inerciais do mesmo.

Foi utilizada uma técnica baseada na condutividade elétrica (CHAMPOUX, 1992) para medir a tortuosidade dos materiais analisados. Para a determinação desta propriedade utilizou-se uma bancada para determinação da condutibilidade elétrica (Ver Fig. 4.25), uma fonte estabilizadora de tensão, um paquímetro e um voltímetro, obedecendo-se o seguinte procedimento:



Figura 4.25 – Bancada para medição da tortuosidade.

- Primeiramente os corpos de prova devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;
- Coloca-se uma amostra do material poroso no interior da bancada desenvolvida, que tem em suas extremidades eletrodos alimentados pela fonte estabilizadora de tensão e que será totalmente preenchido com um fluido condutor, neste caso a água (Ver Fig. 4.26);

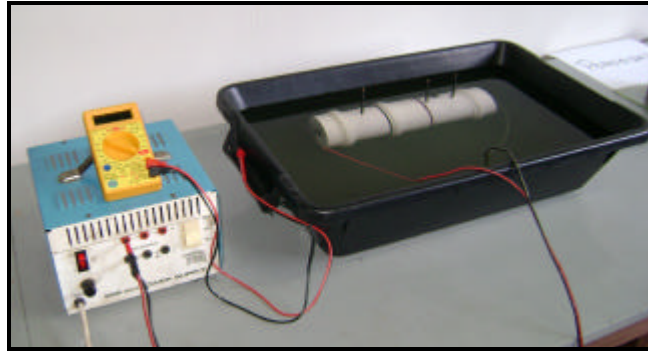


Figura 4.26 – Bancada para medição da tortuosidade totalmente submersa em água.

- Esquemáticamente pode-se descrever esta bancada conforme a Fig. 4.27, onde através das varetas ou fios de cobre (Ver Fig. 4.28) medem-se as diferenças de potencial  $V_1$  e  $V_2$  que permitem determinar a condutividade do fluido e da amostra, respectivamente.

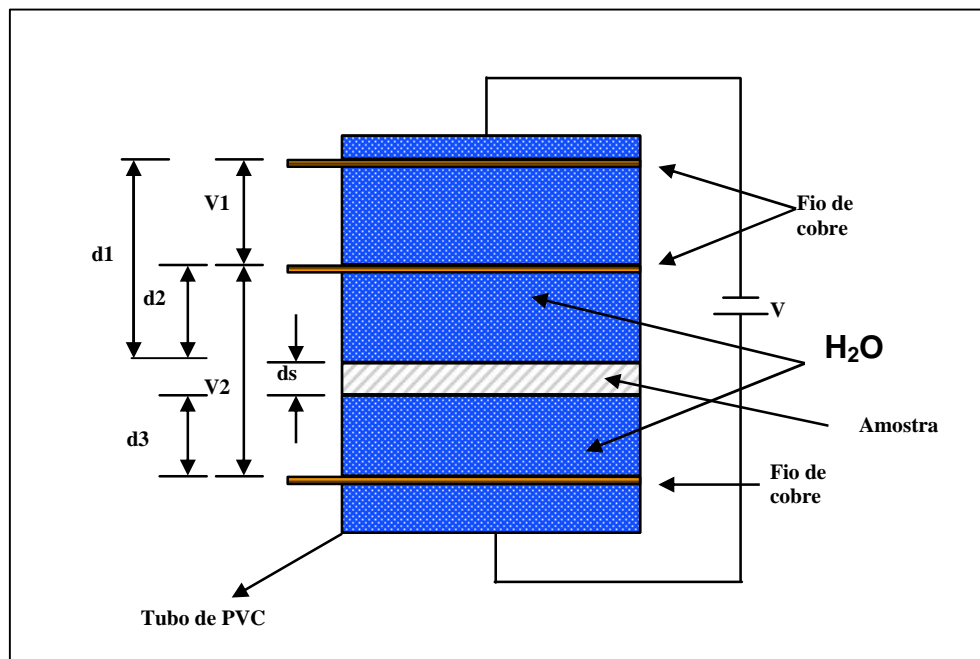


Figura 4.27 – Vista esquemática da bancada para medição da tortuosidade.



Figura 4.28 – Medição da diferença de potencial nas varetas da bancada de tortuosidade.

- A tortuosidade é dada pela seguinte equação:

$$T_o = \Omega \frac{s_a}{s_f}, \quad (4.9)$$

sendo:  $T_o$  – Tortuosidade (adimensional);  $W$  – Porosidade (adimensional);  $s_a$  – Resistividade elétrica da amostra saturada com o Fluido;  $s_f$  – Resistividade elétrica do fluido. A Eq. 4.9 pode ser reescrita e simplificada (BALVEDI, 1998):

$$T = \Omega \left( \frac{V_2}{V_1} \frac{d_1 - d_2}{d_s} - \frac{d_2 - d_3}{d_s} \right), \quad (4.10)$$

sendo:  $V_1$  e  $V_2$  – Diferenças de potência em volts;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  e  $d_s$  – Distâncias em m (de acordo com a Fig. 4.27).

Quando a água é utilizada como fluido condutor (assim como neste caso), deve-se observar se o material poroelástico, que será analisado, é isolante elétrico, se quando saturado em água não tem suas propriedades químicas modificadas e nem seus poros danificados.

Novamente foram analisadas três amostras apenas dos painéis do Tipo III.2 e do Tipo IV (Ver Fig. 4.29) e na Tab. 4.28, têm-se os resultados obtidos de tortuosidade médios com os seus desvios padrão.



Figura 4.29 – Amostras para o teste de tortuosidade.

Tabela 4.28 – Tortuosidade para os painéis Tipo III.2 e IV.

Painel	Tortuosidade Média	Desvio Padrão
Tipo III.2	1,50	0,04
Tipo IV	5,53	0,05

A medição por este método baseado na resistividade elétrica, apesar de simples, forneceu uma boa estimativa da tortuosidade dos materiais analisados, já que para materiais fibrosos, caso do painel de fibra de coco tipo III.2, esperam-se valores entre 1 e 1,8 e para materiais porosos, caso do painel de espuma tipo IV, esperam-se valores até no máximo 10 (LAURIKS, 1994). O resultados confirmam que os poros do painel Tipo IV possuem uma maior variação de sua seção transversal ao longo de seu comprimento, além de não seguirem um caminho muito suave de um lado para o outro da amostra, havendo provavelmente a presença de poros fechados.

#### 4.3.12 – Módulo de Elasticidade Dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico é uma propriedade física macroscópica e de grande importância para a predição do comportamento acústico de materiais porosos. A transmissão e a absorção sonora destes materiais dependem diretamente do módulo de elasticidade dinâmico, visto que ele está relacionado com o controle da velocidade de propagação da onda sonora longitudinal na estrutura. Exemplificando, a velocidade de uma onda longitudinal, propagando-se em uma barra é dada por (BALVEDI, 1998):

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{r_m}}, \quad (4.9)$$

sendo:  $c_l$  – Velocidade de propagação de uma onda longitudinal em m/s;  $E$  – Módulo de elasticidade do material em N/m<sup>2</sup>;  $r_m$  – Densidade do material em kg/m<sup>3</sup>.

O Módulo de elasticidade complexo é normalmente expresso por:

$$E^* = E(1 + ih), \quad (4.10)$$

sendo:  $E^*$  – Módulo de elasticidade complexo;  $h$  – Fator de perda.

O método utilizado para a obtenção do módulo de elasticidade dinâmico baseou-se na propagação de ondas longitudinais de uma viga livre-livre, onde para sua determinação foram utilizados um “*shaker*”, o sistema Pulse de aquisição de dados, uma lâmpada estroboscópica, um paquímetro, uma “cabeça de impedância” e um acelerômetro, obedecendo-se o seguinte procedimento:

- Primeiramente os corpos de prova com os suportes utilizados para fixação no “*shaker*” (Ver Fig. 4.30) devidamente colados, devem ser condicionados por pelo menos 24 h, à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e à umidade relativa de  $50 \pm 2$  % e devem ser mantidos sob estas condições até o momento do ensaio;



Figura 4.30 – Suporte para fixação das amostras ao “*shaker*”.

- Após a montagem de todo o sistema de medição, uma extremidade da amostra é fixada à “cabeça de impedância” e a outra ao acelerômetro (Ver Figuras 4.31 e 4.32);

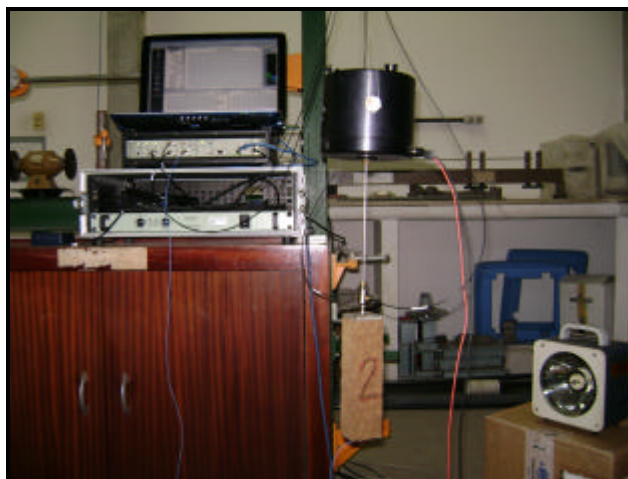


Figura 4.31 – Ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico.



Figura 4.32 – Detalhes do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

- Excita-se a amostra com “ruído branco” e mede-se a função de Transferência;
- Através do software TESTLAB, extraem-se as frequências naturais e o fator de perda para cada amostra;
- Conhecendo-se as dimensões da amostra, determina-se o módulo de elasticidade a partir de (BALVEDI, 1998):

$$E = r_m \left[ \frac{2lf_n}{n} \right]^2 \frac{1}{K_n}, \quad (4.11)$$

sendo:  $E$  – Parte real do módulo de elasticidade complexo;  $r_m$  – Densidade do material em  $\text{kg/m}^3$ ;  $l$  – Comprimento da amostra em m;  $f_n$  – Frequência natural em Hz;  $n$  – Ordem da ressonância;  $K_n$  – Fator de correção de Rayleigh para o  $n$ -ésimo modo de vibração longitudinal, definido por:

$$K_n = 1 - \frac{\nu^2 n^2 d^2}{8l^2}, \quad (4.12)$$

sendo:  $\nu$  – Coeficiente de Poisson do material;  $d$  – Diâmetro equivalente da seção transversal em m, dado por:

$$d^2 = \frac{2}{3}(a^2 + b^2), \quad (4.13)$$

sendo: a e b – Arestas da seção transversal da amostra em m.

É importante destacar que esta equação do fator de correção só é válida para valores de  $d/l \ll 1$  onde,  $l$  é o comprimento de onda relacionado com o comprimento da amostra pela equação  $l = \frac{2l}{n}$ .

Novamente foram analisadas três amostras apenas dos painéis do Tipo III.2 e do Tipo IV (Ver Fig. 4.33) e na Tab. 4.29 têm-se os resultados médios obtidos para os módulos de elasticidade dinâmicos com os seus desvios padrão e na Tab. 4.30, têm-se os valores obtidos dos fatores de perda também com os seus desvios padrão.

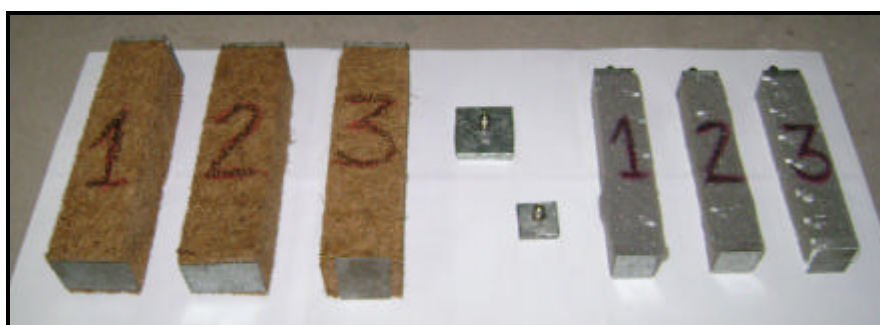


Figura 4.33 – Amostras para o teste de determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

Tabela 4.29 – Módulo de elasticidade dinâmico para os painéis Tipo III.2 e IV.

Painel	Módulo de Elasticidade Dinâmico Médio (N/m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
Tipo III.2	1283226,06	33568,98
Tipo IV	35282,73	518,66

Tabela 4.30 – Fator de perda para os painéis Tipo III.2 e IV.

Painel	Fator de Perda Médio	Desvio Padrão
Tipo III.2	0,071	0,002
Tipo IV	0,098	0,012

Neste caso a primeira frequência natural obtida foi, aproximadamente, 243 Hz para o painel Tipo III.2 e 100 Hz para o painel Tipo IV, não sendo possível a visualização do modo de vibração longitudinal das amostras com o auxílio da lâmpada estroboscópica, já que sua faixa de sintonia estava entre 500 e 5000 Hz. Outro ponto importante está relacionado com o valor do coeficiente de Poisson utilizado para o cálculo do fator de correção de Rayleigh que foi igual a 0,3, visto que, segundo BERANEK (1988), este é aproximadamente 0,3 para materiais estruturais e próximo de 0,5 para borrachas.

#### 4.3.13 – Módulo de Compressibilidade do Fluido no Interior dos Poros (Fator Q)

O fator Q é o módulo de compressibilidade do fluido no interior dos poros de um material poroelástico, e tem um papel fundamental na formulação utilizada durante as simulações numéricas para a obtenção do coeficiente de absorção no software SYSNOISE-VIOLINS, melhor detalhadas posteriormente. O módulo de compressibilidade do fluido no interior dos poros é obtido a partir de uma média entre o módulo de compressibilidade do fluido ( $rc^2$ ) e do esqueleto do material ( $K$ ) como mostrado por (BALVEDI, 1998):

$$\frac{1}{Q_m} = \frac{\Omega}{rc^2} + \frac{(a_{Biot} - \Omega)}{K}, \quad (4.14)$$

sendo:  $Q_m$  – Módulo de compressibilidade do fluido no interior dos poros em N/m<sup>2</sup>;  $W$  – Porosidade da amostra (adimensional);  $r$  – Densidade do fluido em kg/m<sup>3</sup>;  $c$  – Velocidade do som no fluido em m/s;  $a_{Biot}$  – Fator de Biot (normalmente igual 1).

Como  $K$  é geralmente muito maior que  $rc^2$  (BALVEDI, 1998),  $Q$  assume um valor próximo de  $rc^2$ , isto é, para ambas amostras assumiu-se aproximadamente 150000 N/m<sup>2</sup>.



## **5 – COEFICIENTE DE ABSORÇÃO**

### **5.1 – INTRODUÇÃO**

A eficiência de um tratamento acústico com materiais porosos e fibrosos é geralmente avaliada pelos seus coeficientes de absorção, que representam uma medida da fração de energia acústica absorvida pelo sistema em relação à energia acústica incidente. O coeficiente de absorção pode ser medido diretamente em uma câmara reverberante ou calculado utilizando-se um tubo de impedância.

Na câmara reverberante, pode-se medir o coeficiente de absorção para incidência aleatória, que considera ondas sonoras incidindo de todas as direções e no tubo de impedância, considera-se a propagação somente de ondas planas, sendo então a impedância normal de superfície e o coeficiente de absorção normal calculadas com pequenas amostras do material absorvedor.

Devido à facilidade e custo baixo, optou-se primeiramente pela quantificação do coeficiente de absorção sonora pelo método da função de transferência em um tubo de impedância e, posteriormente, pela utilização de uma mini-câmara reverberante, ambos desenvolvidos no GVA.

### **5.2 – TUBO DE IMPEDÂNCIA**

No tubo de impedância pode-se determinar o coeficiente de absorção através do método clássico de ondas estacionária (ISO 10534-1), ou através do método da função de transferência (ISO 10534-2). Neste trabalho foi construída uma infra-estrutura para utilização do segundo método, pois é mais rápido e tem melhor repetibilidade e reprodutibilidade.

O método da função de transferência possui grandes vantagens em relação ao método clássico do tubo de impedância, como por exemplo: maior rapidez (cerca de 40 vezes mais rápido), obtenção de curvas praticamente contínuas em comparação com o método clássico que fornece valores discretos, e menores dimensões do tubo de impedância entre outros. Porém, existem algumas limitações

no método, principalmente em relação à faixa de frequência útil e alguns cuidados devem ser tomados para que os erros sejam minimizados.

### 5.2.1 – Método da Função de Transferência

A determinação da impedância normal de superfície e do coeficiente de absorção em um tubo de impedância pelo método da função de transferência é padronizada pela Norma ISO 10534-2. Na Fig. 5.1, tem-se uma visão geral do conjunto de medição.



Figura 5.1 – Conjunto de medição do coeficiente de absorção normal – tubo de impedância.

Primeiramente, para a realização destes ensaios foi necessário utilizar um sistema de aquisição e tratamento de sinais, neste caso o sistema Pulse, composto de um computador para armazenamento e visualização dos dados e um módulo com uma saída (para a fonte sonora) e duas entradas (para os microfones de campo difuso). O sinal de saída antes de chegar na fonte sonora passa por um amplificador, onde pode-se ajustar o nível do sinal dentro do tubo de impedância (Ver Fig. 5.2).



Figura 5.2 – Sistema de aquisição de dados (*notebook*, "Pulse", amplificador).

A fonte sonora (Figuras 5.3 e 5.4) é composta de um alto-falante instalado no interior de uma caixa acústica totalmente vedada, que será acoplada aos tubos de impedância (grande e pequeno).

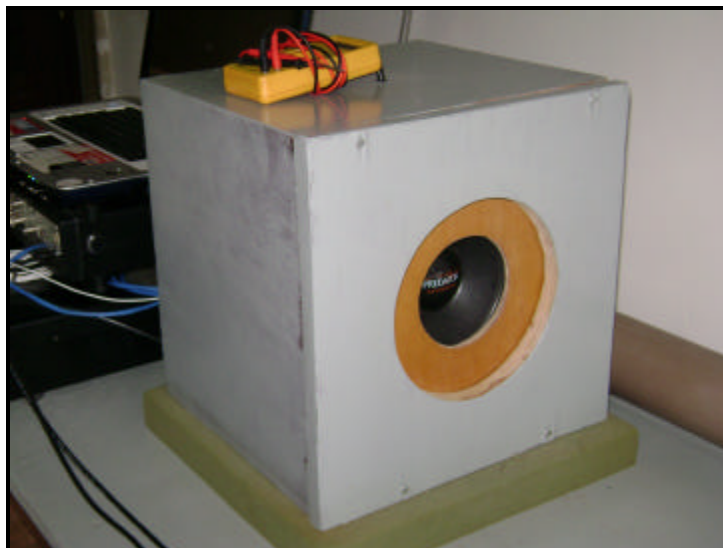


Figura 5.3 – Fonte sonora do tubo de impedância.

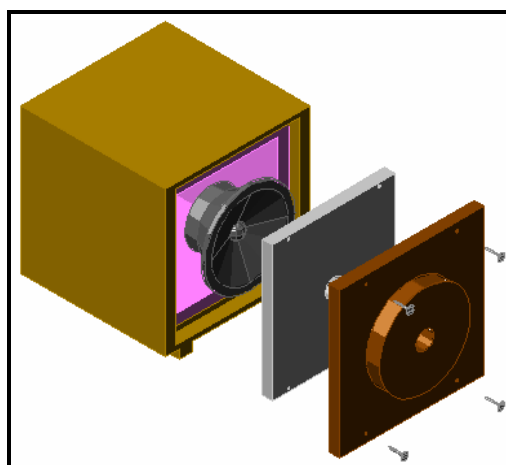


Figura 5.4 – Vista explodida da fonte sonora do tubo de impedância.

Foram construídos dois tubos para aumentar a faixa de medição do teste, visto que seus diâmetros estão diretamente relacionados com as frequências de cortes dos mesmos. No decorrer deste texto, este e outros parâmetros são abordados com mais detalhe.

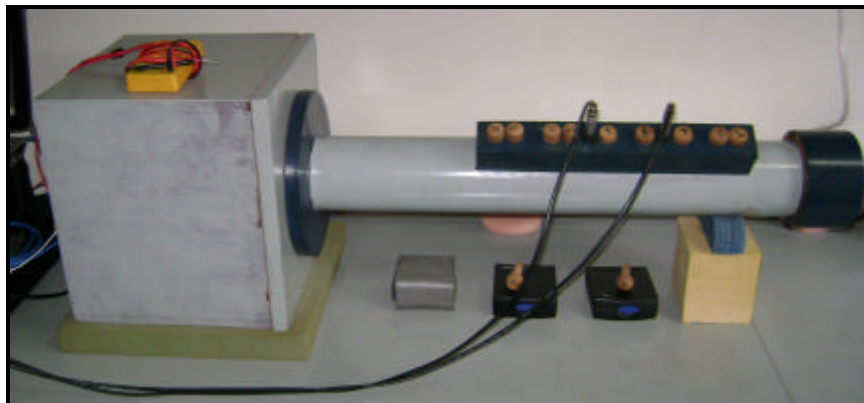
O tubo de impedância grande tem diâmetro interno de 0,097 m e foi montado com um suporte para microfones com 11 furos, onde cada numeração equivale a um espaçamento de 0,025 m (Ver Fig. 5.5), possibilitando diversas combinações entre as posições dos dois microfones utilizados no ensaio, podendo-

se variar a distância entre os mesmos ou manter esta distância constante variando a localização do par em relação à amostra.

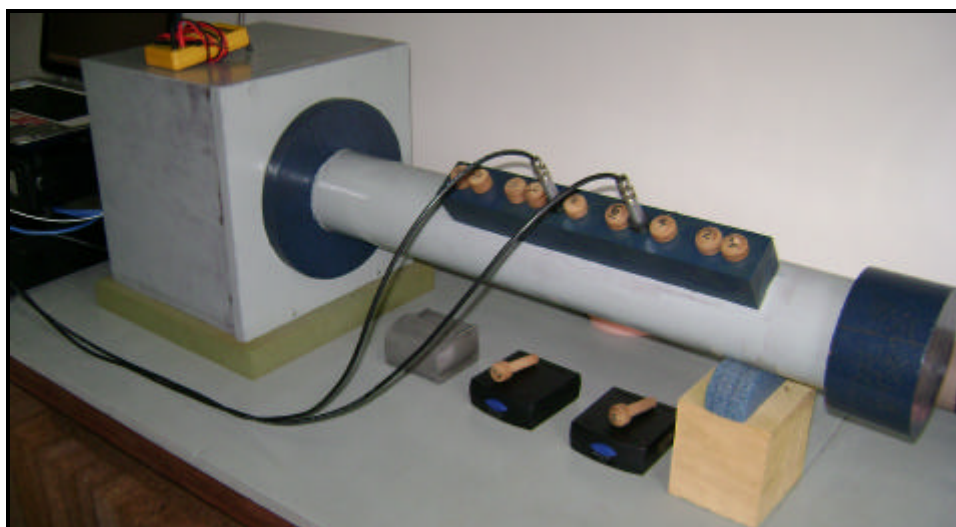


**Figura 5.5 – Suporte dos microfones (tubo grande).**

Nas Figuras 5.6 e 5.7 observa-se a fonte sonora acoplada ao Tubo Grande com dois microfones e no final (à direita) o “porta amostras”.

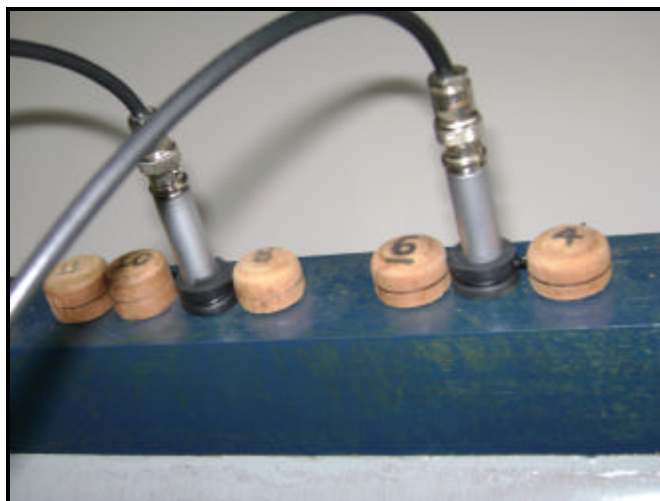


**Figura 5.6 – Tubo de impedância grande (diâmetro 0,097 m) – Vista frontal.**



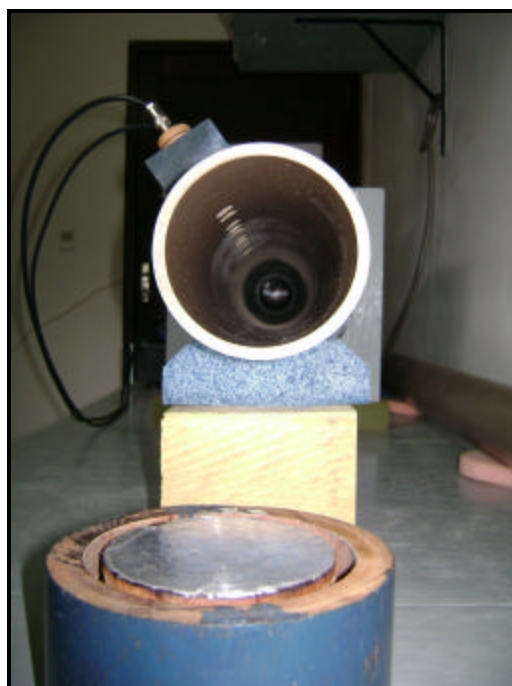
**Figura 5.7 – Tubo de impedância grande (diâmetro 0,097 m) – Vista isométrica.**

O suporte dos microfones deve, além de mantê-los na posição (espaçamento) correta, garantir que não existirão vazamentos e que os microfones ficarão sempre tangentes à superfície interna do tubo. Para isso, utiliza-se um anel de borracha na superfície de contato entre o microfone e o suporte (Ver Fig 5.8).



**Figura 5.8 – Detalhe dos anéis de vedação de borracha.**

É importante lembrar que o “porta amostras” deve ser confeccionado de forma que reflita todas ondas sonoras que nele incidem e, para isso, foi aplicado uma película de material refletor (“papel alumínio”) na sua superfície interna (Ver Fig. 5.9).



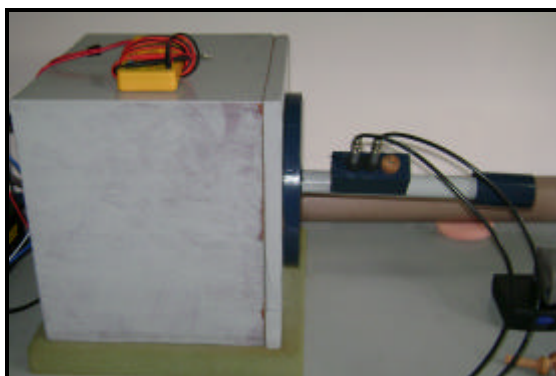
**Figura 5.9 – Detalhe do tangenciamento dos microfones e do “porta amostras”.**

O tubo de impedância pequeno tem diâmetro interno de 0,027 m e foi montado com um suporte para microfones com 3 furos, onde cada numeração também equivale a um espaçamento de 0,025 m (Ver Fig. 5.10).



**Figura 5.10 – Suporte dos microfones (tubo pequeno).**

Basicamente todas as informações e cuidados que foram comentados para o tubo grande são válidos para o Tubo Pequeno. Nas Figuras 5.11 e 5.12, observa-se a fonte sonora agora acoplada ao Tubo Pequeno com dois microfones e o “porta amostras”.



**Figura 5.11 – Tubo de impedância pequeno (diâmetro 0,027 m).**



**Figura 5.12 – Detalhe do “porta amostras”.**

Descrevem-se na Norma ISO 10534-2, duas formas de realização deste ensaio, sendo uma utilizando-se apenas 1 (um) microfone e a outra com 2 (dois) microfones. Neste trabalho, foi adotada a técnica com 2 (dois) microfones devido, em primeiro lugar, à disponibilidade de equipamentos com essa capacidade operacional e, em segundo lugar, à maior velocidade de realização dos ensaios pela obtenção dos dois sinais simultaneamente, combinando rapidez, boa precisão e fácil implementação, fatos estes muito importantes devido ao número elevado de medições programadas para este ensaio. Porém, torna-se necessário fazer um procedimento de correção para evitar erros sistemáticos de diferença de amplitude ou de fase entre os microfones ou até mesmo eventuais diferenças entre os dois canais de medição do analisador.

Utiliza-se preferencialmente uma sala climatizada onde as condições ambientais se mantenham constantes (por exemplo, temperatura de 23 °C, umidade relativa de 50% e pressão atmosférica em torno de 101,325 kPa). Nesta sala, as amostras e todos os equipamentos permanecem durante todo o período do experimento.

Primeiramente, monta-se o sistema Pulse (computador e módulo de aquisição), conectando-os com o amplificador, a fonte sonora e com os microfones. Só depois de realizada a conexão de todos os cabos e de todos os transdutores podem-se ligar os equipamentos.

Em seguida, deve-se escolher qual faixa de frequência deseja-se medir, para então conectar o Tubo Grande ou o Tubo Pequeno à fonte sonora. Antes, é importante ressaltar algumas informações como:

- A formulação para o método da função de transferência considera que somente ondas planas propagam-se no interior do tubo. Desta forma, a frequência máxima válida para o experimento é a frequência de corte para o primeiro modo em dutos, dada por:

$$f_{corte} = \frac{1,84c}{pd} , \quad (5.1)$$

sendo:  $f_{corte}$  – Frequência de corte em Hz;  $c$  – Velocidade do Som no ar em m/s;  $d$  – Diâmetro do tubo de impedância em m.

- Chung e Blaser (1980), concluíram em seu trabalho que quando o produto  $k*s$ , sendo “ $k$ ” é o número de onda ( $k = \frac{2pf}{c}$ ) e “ $s$ ” o espaçamento entre os microfones, for igual a um múltiplo inteiro de  $p$ , o coeficiente de reflexão, torna-se indeterminado. Esta afirmação é equivalente a dizer que o coeficiente de reflexão é indeterminado quando  $s = ml/2$ , ou seja, quando a distância entre os dois sinais (microfones) for igual a um múltiplo “ $m$ ” de meio comprimento de onda ( $\lambda$ ). Desta forma, escolhe-se a distância entre as posições dos microfones de modo a satisfazer a seguinte condição:

$$s \leq \frac{c}{2f_m}, \quad (5.2)$$

Sendo:  $f_m$  – Frequência máxima de interesse em Hz.

- Bodén e Abon (1986), após diversos experimentos concluem que, desde que a frequência de corte (Eq. 5.1) seja respeitada, cada distância “ $s$ ” entre os microfones fornece melhores resultados em uma determinada faixa de frequência, dada por  $\frac{0,1c}{2s} < f < \frac{0,9c}{2s}$ .  
Desta forma, a região para a qual o método possui uma menor sensibilidade aos erros associados à função de transferência será nas frequências próximas de  $f = \frac{c}{4s}$ ;
- Bodén e Abon (1986), também comentam que as fontes de erros no método da função de transferência são basicamente erros durante a obtenção da função de transferência e erros devido à sensibilidade das fórmulas de cálculo, chegando a algumas conclusões práticas para minimizar os erros do método tais como: o comprimento total do tubo de impedância deve ser mantido pequeno, na prática entre cinco e dez vezes o seu diâmetro, diminuindo a absorção do sinal pelas paredes do tubo; a fonte sonora não deve ser refletora; o microfone que está na posição próxima da amostra, deve ficar o mais próximo possível da extremidade da amostra, porém, não a uma distância inferior a 10 mm.



Neste caso, optou-se por avaliar o comportamento das amostras numa faixa entre 200 e 6000 Hz com uma resolução de 1 Hz, o que tornou necessária a utilização dos dois tubos com as seguintes configurações de montagem:

- O Tubo Grande com diâmetro de 0,097 m tem sua frequência de corte aproximadamente igual a 2063 Hz. Por isso, optou-se por um espaçamento entre microfones de 0,1 m, o que definiu a faixa válida de medição entre aproximadamente 173 e 1552 Hz;
- O Tubo Pequeno com diâmetro de 0,027 m tem sua frequência de corte aproximadamente igual a 7411 Hz. Por isso, optou-se por um espaçamento entre microfones de 0,025 m, o que definiu a faixa válida de medição entre aproximadamente 691 e 6210 Hz.

Um dos tubos será então conectado à fonte sonora para que os microfones sejam instalados e uma das amostras colocada na extremidade do tubo de impedância (“porta amostras”), que deve ser rígida para permitir o mínimo possível de absorção e transmissão.

Em seguida, inicia-se o processo de medição, que consiste em excitar o tubo com um ruído branco de banda larga e medir a pressão sonora no seu interior em duas posições distintas. O nível global de pressão sonora nos microfones não deve ultrapassar 90 dB para que seja possível considerar o comportamento linear do som dentro dos tubos. Os sinais obtidos são processados no analisador e a função de transferência entre eles já corrigida pelo “fator de correção entre os microfones” é calculada. A partir da função transferência, pode-se calcular o coeficiente de reflexão e a impedância normal de superfície. O cálculo da função de transferência neste caso, parte do princípio de que somente ondas planas propagam-se no interior do tubo e as pressões incidente e refletida no seu interior podem ser escritas, respectivamente, como:

$$P_i = A e^{i(\omega t - kz)}, \quad (5.3)$$

$$P_r = B e^{i(\omega t + kz)}, \quad (5.4)$$

sendo:  $A$  – Amplitude da onda incidente em Pa;  $B$  – Amplitude da onda refletida em Pa;  $k$  – Número de onda em  $m^{-1}$ .

Assim, nas posições escolhidas (Posições 1 e 2), os respectivos sinais podem ser expressos como a soma da pressão incidente mais a pressão refletida:

$$P_1(\mathbf{w}) = e^{i\mathbf{w}t} (Ae^{-ikz_1} + Be^{ikz_1}) , \quad (5.5)$$

$$P_2(\mathbf{w}) = e^{i\mathbf{w}t} (Ae^{-ikz_2} + Be^{ikz_2}) , \quad (5.6)$$

sendo:  $z_1$  – Distância entre a posição 1 e a superfície da amostra em m;  $z_2$  – Distância entre a posição 2 e a superfície da amostra em m.

A função de transferência entre os dois sinais torna-se:

$$H_{12}(\mathbf{w}) = \frac{P1(\mathbf{w})}{P2(\mathbf{w})} = \frac{[Ae^{-ikz_1} + Be^{ikz_1}]}{[Ae^{-ikz_2} + Be^{ikz_2}]} , \quad (5.7)$$

Desta forma, as funções de transferência  $H_{12}$  são obtidas e convertidas para um arquivo de leitura do software MATLAB, onde foi elaborado um programa para o cálculo do coeficiente de reflexão e de absorção normal (Apêndice AP.D). O coeficiente de reflexão normal complexo é dado pela razão entre  $B$  e  $A$ , assim isolando-se  $B/A$  na Eq. 5.7, tem-se que:

$$r(\mathbf{w}) = \left( \frac{H_{12}(\mathbf{w}) - e^{-iks}}{e^{iks} - H_{12}(\mathbf{w})} \right) e^{2ikz_1} , \quad (5.8)$$

sendo:  $s$  – Espaçamento entre os microfones ( $z_2 - z_1$ ) em m.

A Eq. 5.8 é a equação aplicada para a determinação do coeficiente de absorção ( $\mathbf{a}$ ) dos materiais, o qual é dado por:

$$\mathbf{a} = 1 - |r|^2 , \quad (5.9)$$

Todo este processo deve ser repetido para as demais amostras e também para o outro tubo. Após a medição de todas estas informações, calcula-se a média aritmética entre os coeficientes de absorção obtidos para cada amostra e faz-se a sobreposição dos resultados dos dois tubos, mostrando-se os resultados na forma gráfica (coeficiente de absorção em função da frequência em Hz). No Anexo AN.A foram detalhados os procedimentos para a determinação da função de transferência utilizando-se a técnica de um microfone.

### 5.2.2 – Resultados dos Painéis Acústicos

Foram analisadas três densidades de painéis de fibra de coco, sendo que para cada densidade foram analisadas duas espessuras (Ver Fig. 5.13), totalizando seis tipos de painéis de fibra de coco. Como forma de comparar qualitativamente os resultados obtidos para os painéis de fibra de coco, foram também analisados dois tipos de espumas comercialmente utilizadas para controle acústico de recintos.



Figura 5.13 – Amostras do painel de  $130 \text{ kg/m}^3$  com 0,05 m e 0,1 m de espessura para o ensaio do tubo de impedância.

Para facilitar o entendimento na Tab. 5.1, pode-se observar todos os painéis analisados com suas respectivas características.

Tabela 5.1 – Características gerais dos painéis analisados.

Painel	Densidade ( $\text{kg/m}^3$ )	Espessura (m)	Descrição
Tipo I.1	18	0,05	Painel de Fibra de Coco
Tipo I.2	18	0,10	Painel de Fibra de Coco
Tipo II.1	60	0,05	Painel de Fibra de Coco
Tipo II.2	60	0,10	Painel de Fibra de Coco
Tipo III.1	130	0,05	Painel de Fibra de Coco
Tipo III.2	130	0,10	Painel de Fibra de Coco
Tipo IV	30	0,03	Painel de Espuma (Sonex Roc)
Tipo V	30	0,75	Painel de Espuma (Sonex Flexonic)

Foram confeccionados três corpos de prova de cada tipo de painel (Ver Fig. 5.14) no diâmetro de 0,027 m (Tubo Pequeno), e 0,097 m (Tubo Grande), retiradas de mantas em lotes de fabricação aleatórios e em posições variadas. Estes corpos de prova foram ensaiados dos dois lados obtendo-se o coeficiente de absorção para as duas superfícies e aumentando-se então o número de amostras para seis de cada tipo.



Figura 5.14 – Amostras preparadas para o ensaio do tubo de impedância.

Cada amostra foi identificada com uma numeração única (Ver Fig. 5.15) para melhor identificação dos resultados, visto que mesmo sendo confeccionadas de forma idêntica, as amostras apresentam diferenças físicas e geométricas facilmente perceptíveis a “olho nu”.



Figura 5.15 – Amostras identificadas para o ensaio do tubo de impedância.

Na Fig. 5.16 tem-se os dois tipos de painéis de espuma escolhidos para serem avaliados junto com os painéis de fibra de coco. O Tipo IV é um painel

de superfície plana e muito utilizado em forros acústicos, já o Tipo V é um painel com a superfície em forma de cunhas e muito utilizado em paredes de cabines acústicas, além de destacar-se por ter um dos menores preços no mercado.



Figura 5.16 – Amostras dos painéis de espuma escolhidos para o ensaio nos tubos de impedância.

Nas Figuras 5.17 e 5.18, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) sem amostras, ou seja, apenas a terminação rígida do “porta amostras”.

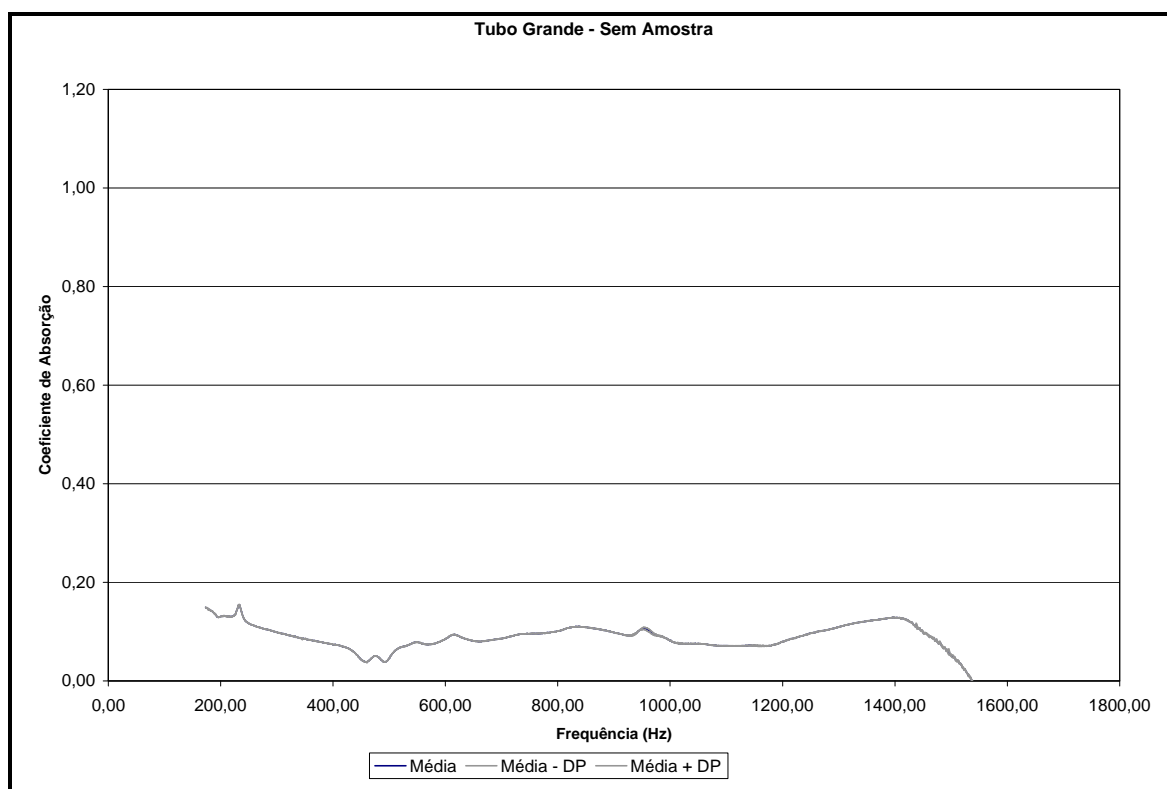


Figura 5.17 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande sem amostra.

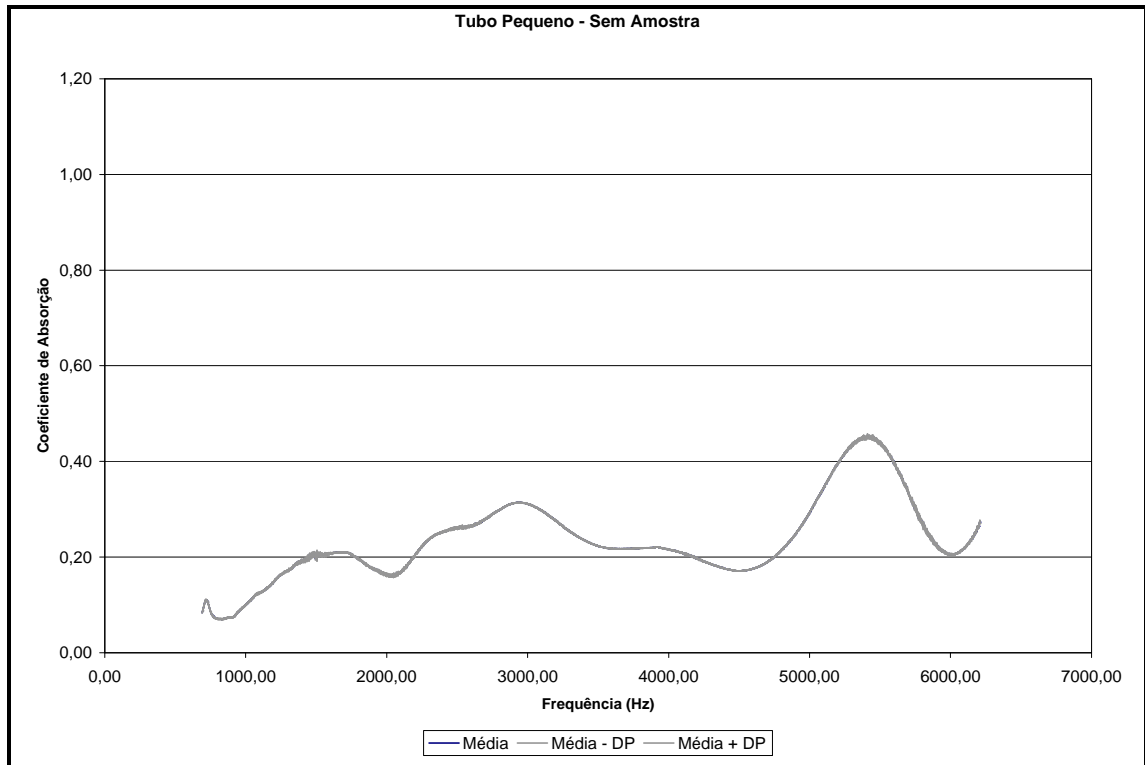


Figura 5.18 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno sem amostra.

Na Fig. 5.19 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida. Estes resultados, comentados no próximo item deste capítulo, servem para atestar a qualidade dos demais resultados medidos nos tubos em questão.

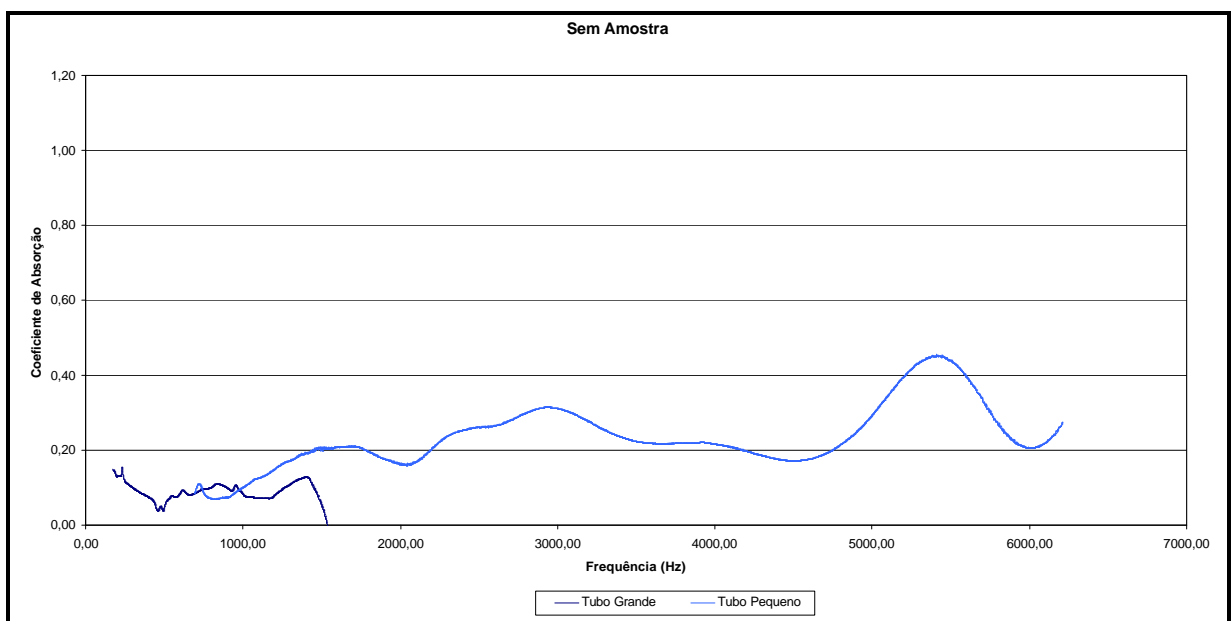


Figura 5.19 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância sem amostra.

Nas Figuras 5.20 e 5.21, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo I.1. Na Fig. 5.22 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

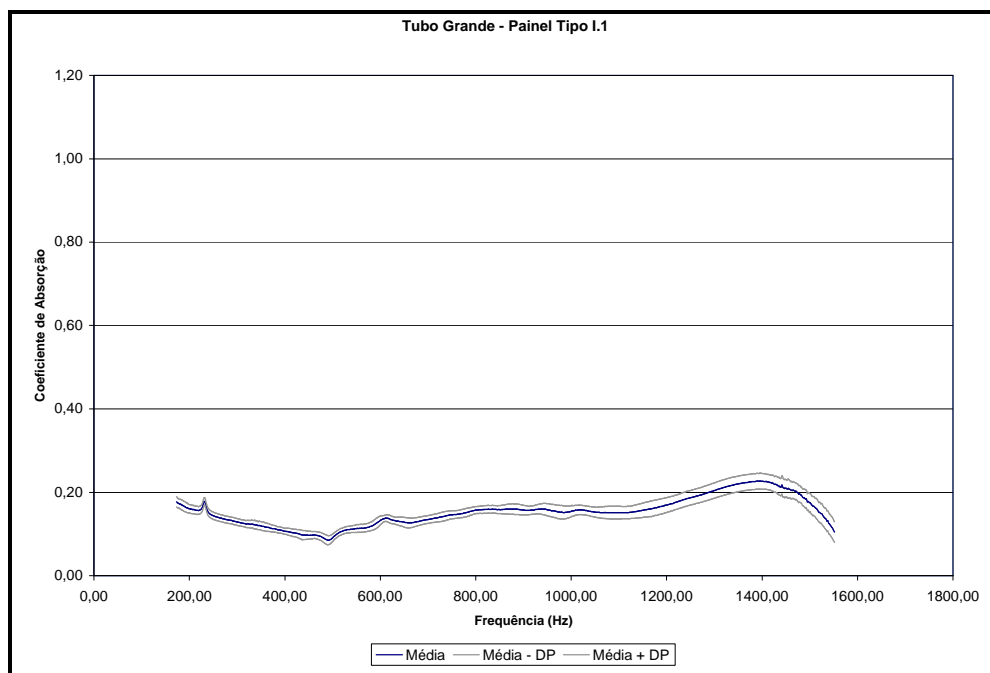


Figura 5.20 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo I.1.

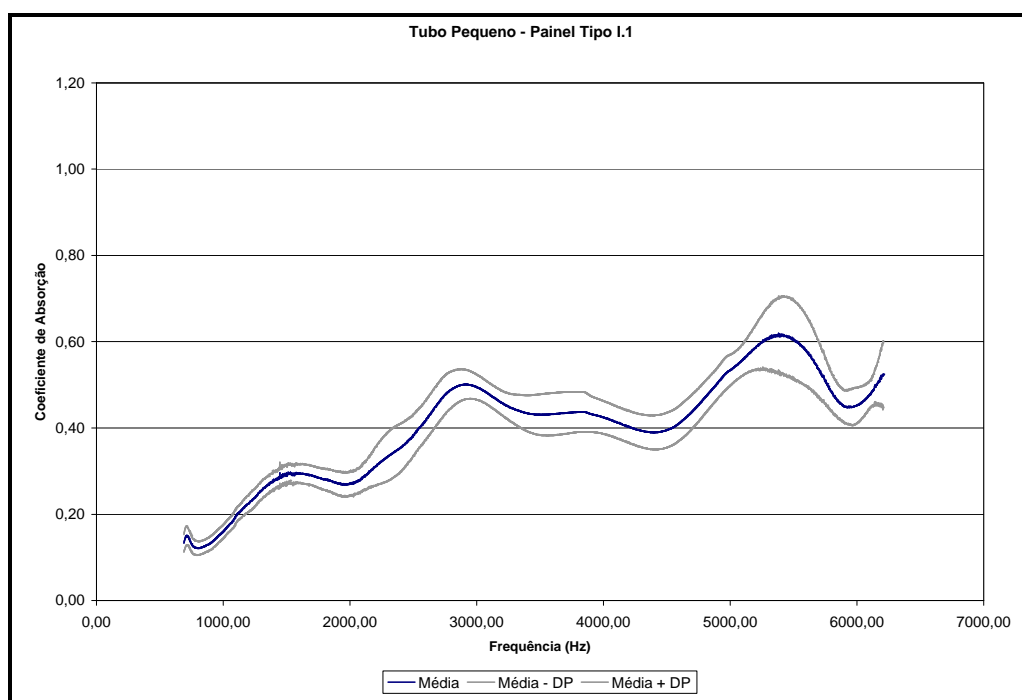


Figura 5.21 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo I.1.

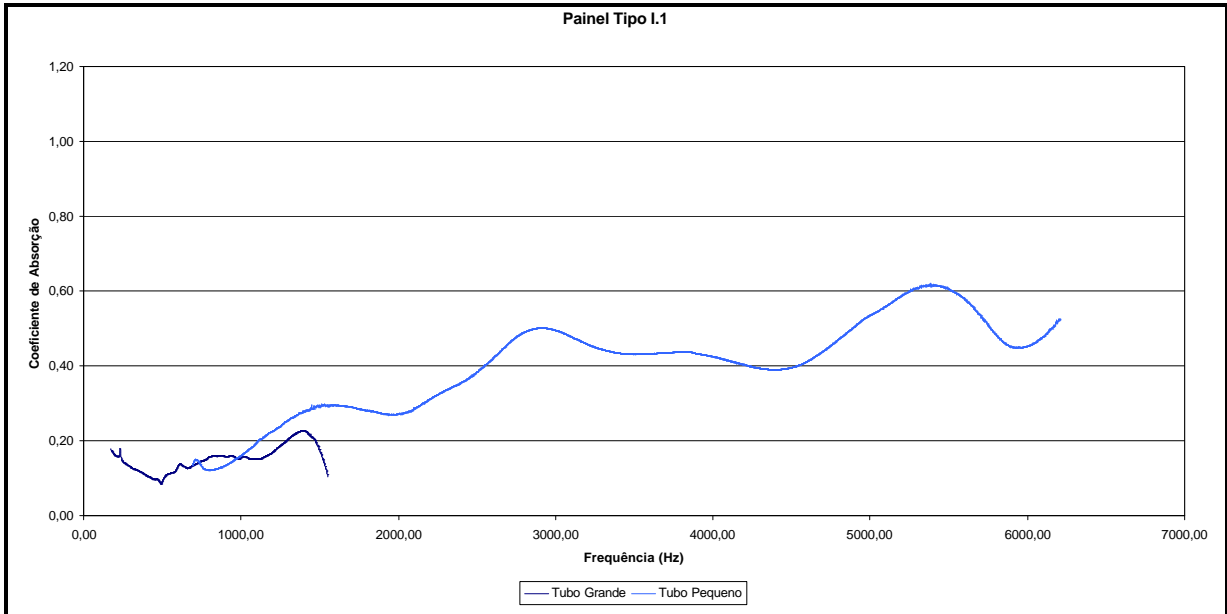


Figura 5.22 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo I.1.

Nas Figuras 5.23 e 5.24, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo I.2. Na Fig. 5.25 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

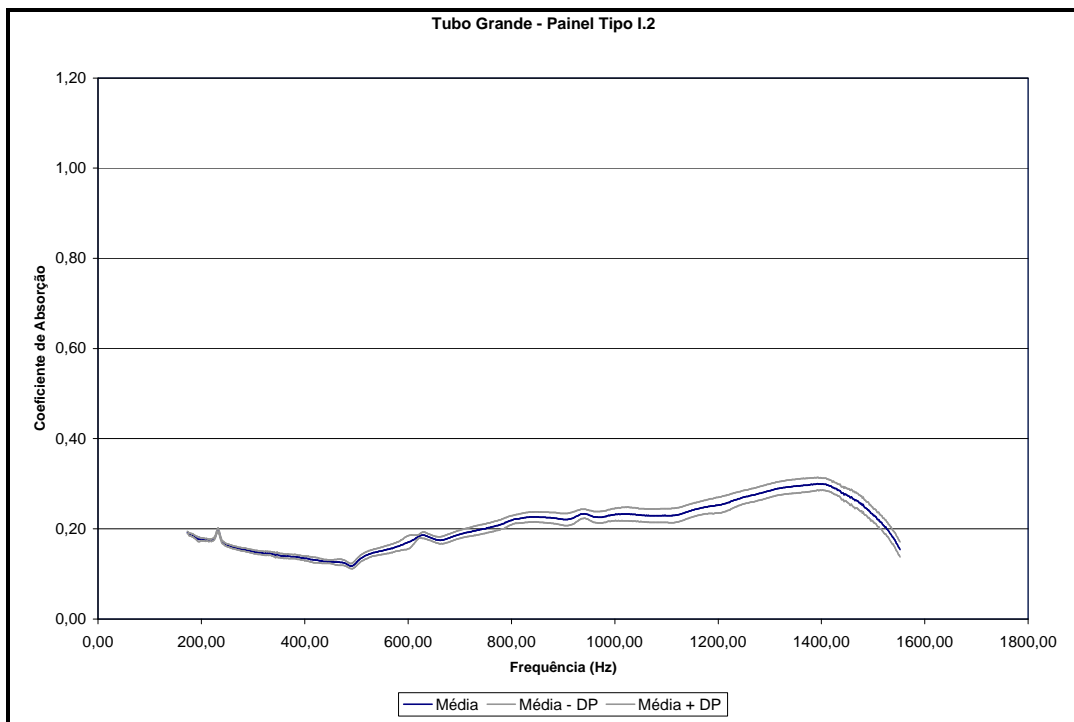
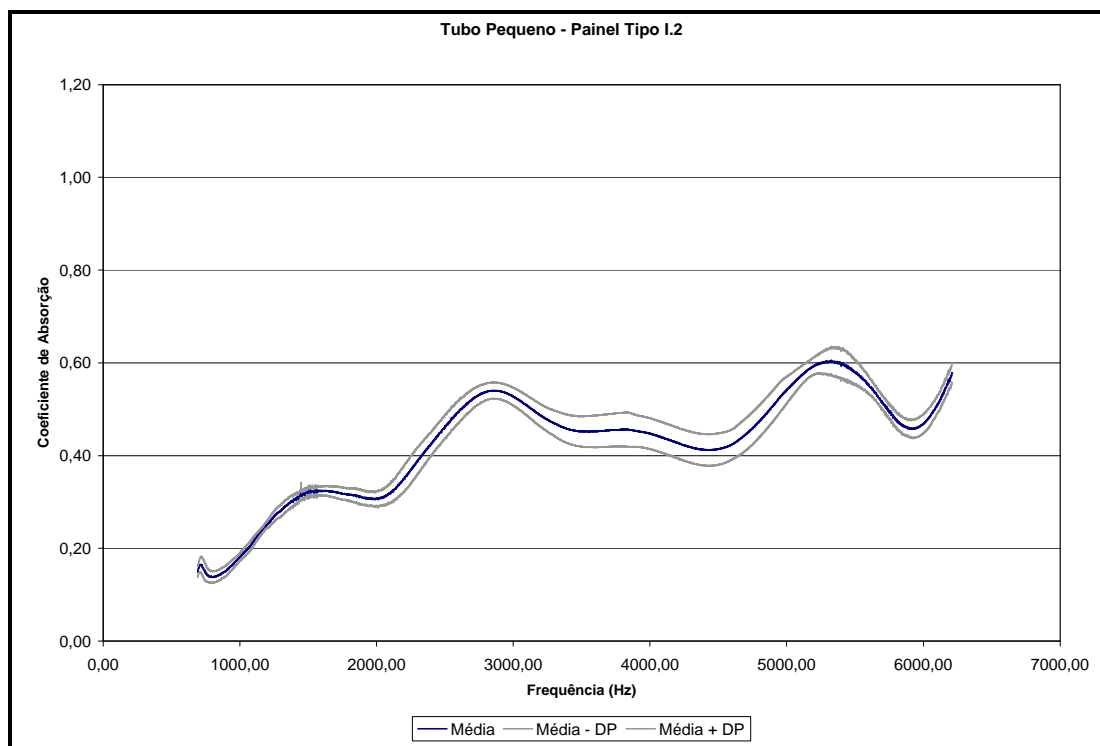
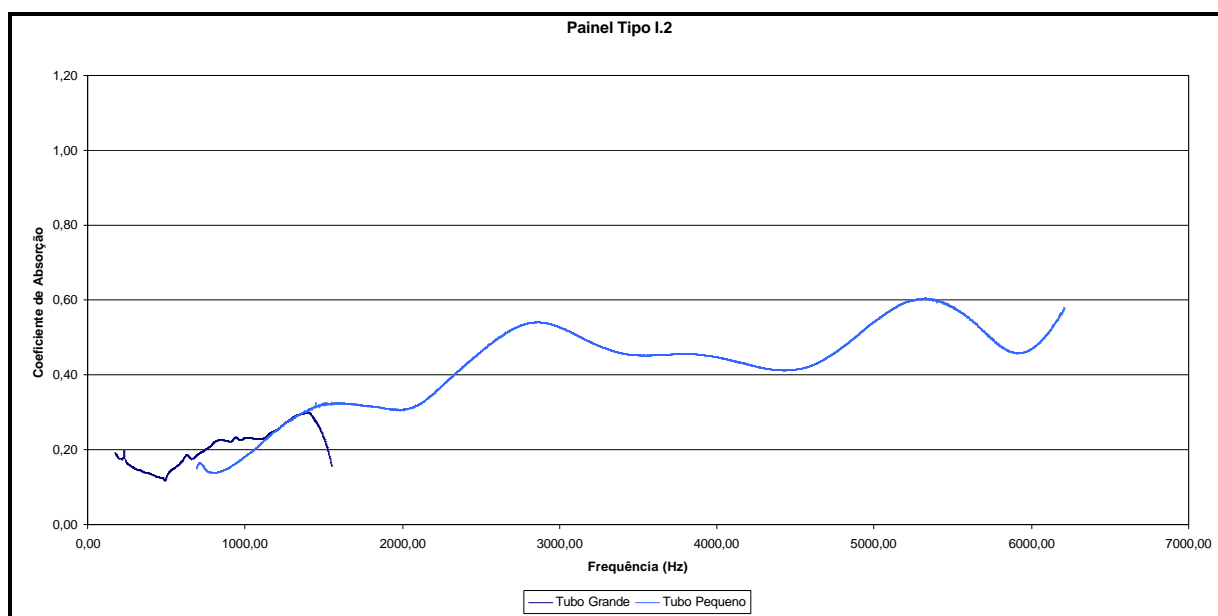


Figura 5.23 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo I.2.





**Figura 5.24 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo I.2.**



**Figura 5.25 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo I.2.**

Nas Figuras 5.26 e 5.27, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo II.1. Na

Fig. 5.28 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

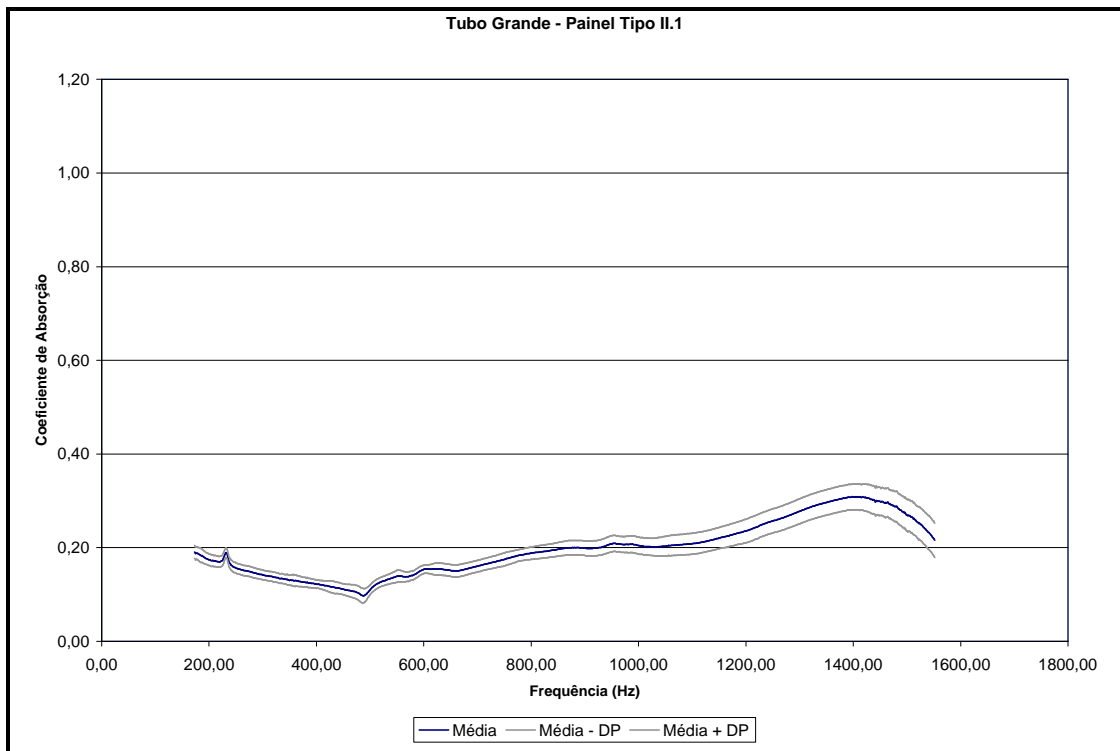


Figura 5.26 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo II.1.

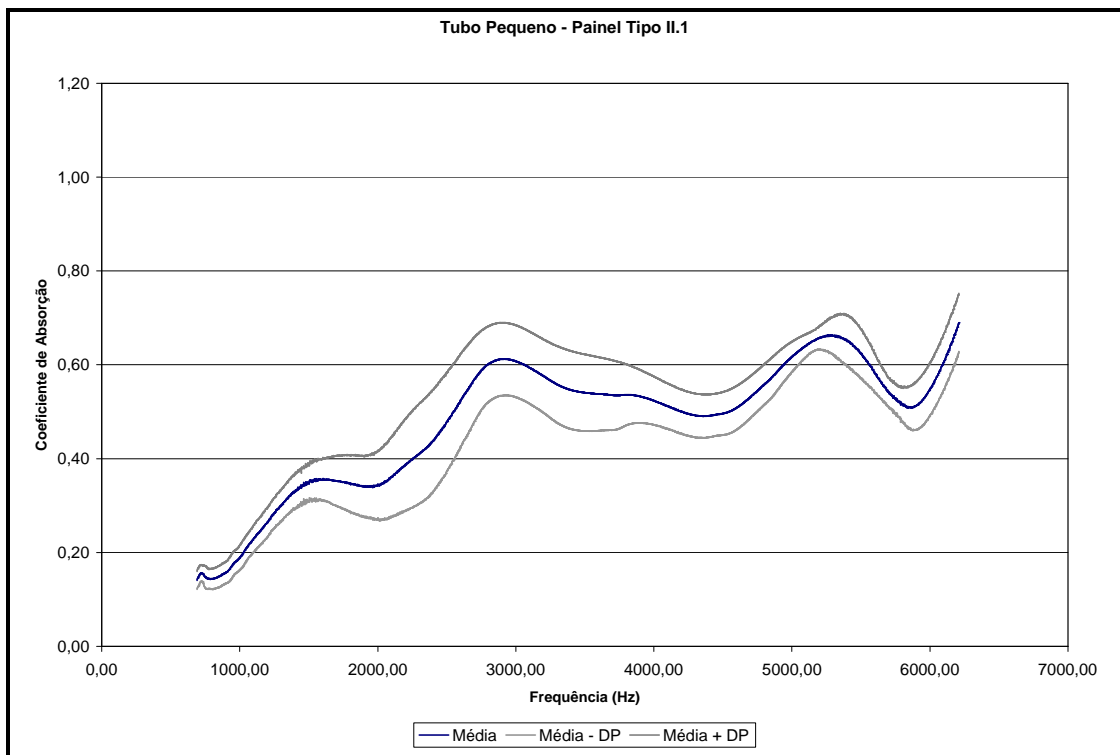


Figura 5.27 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo II.1.

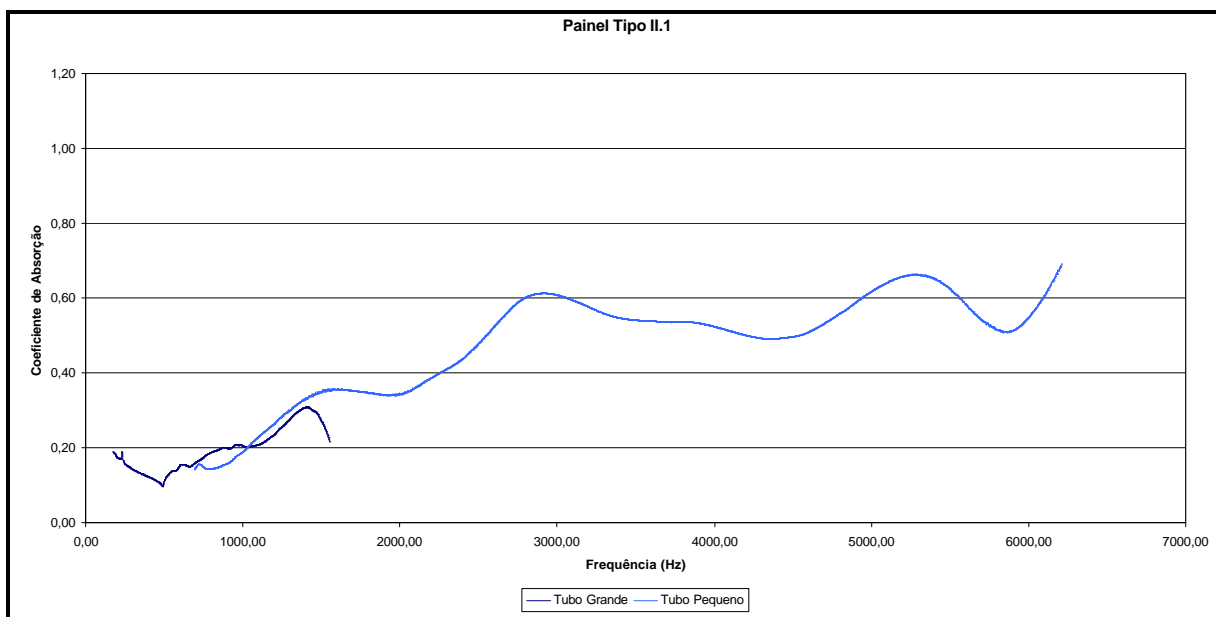


Figura 5.28 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo II.1.

Nas Figuras 5.29 e 5.30, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo II.2. Na Fig. 5.31 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

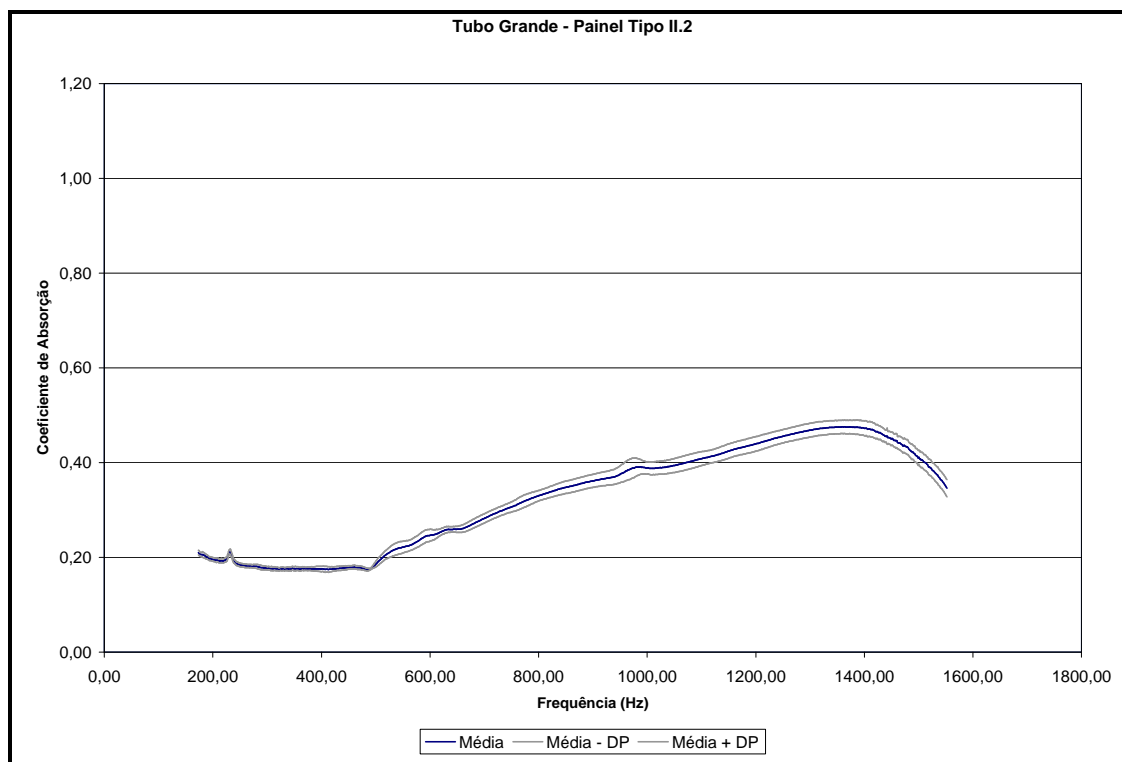
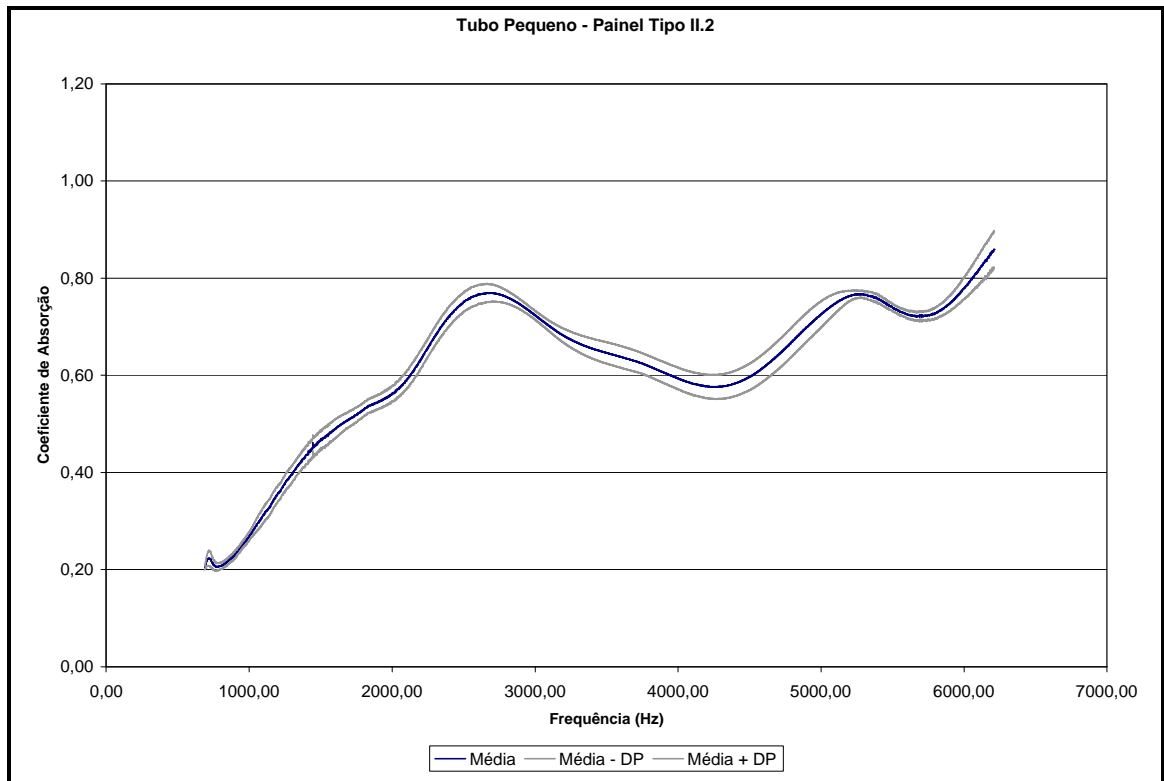
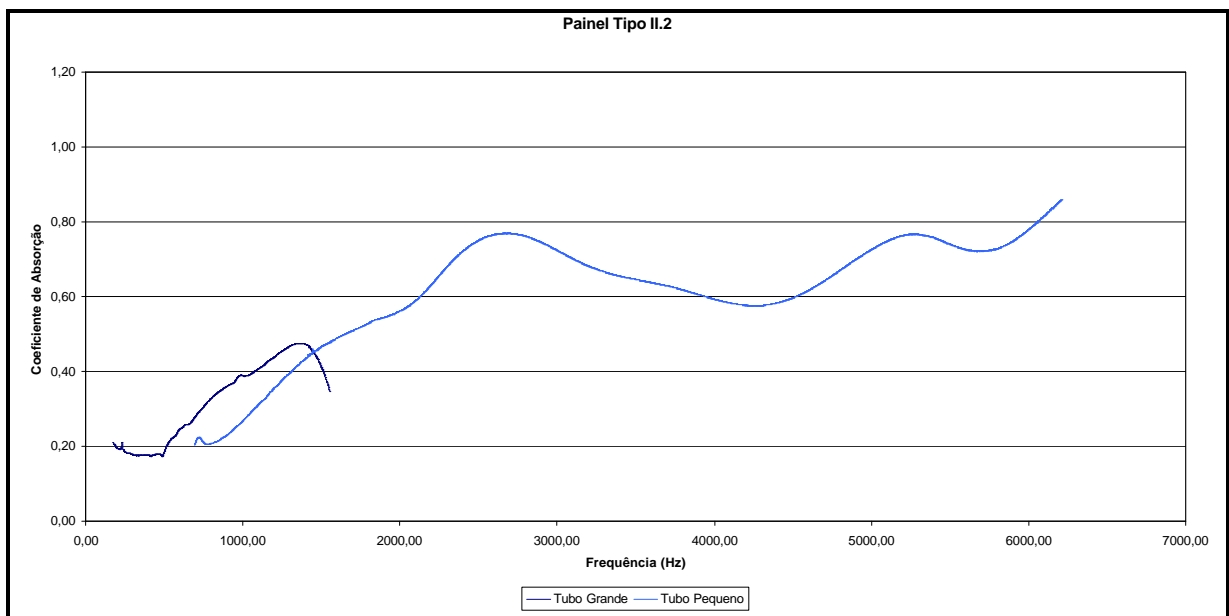


Figura 5.29 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo II.2.



**Figura 5.30 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo II.2.**



**Figura 5.31 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo II.2.**

Nas Figuras 5.32 e 5.33, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo III.1. Na

Fig. 5.34 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

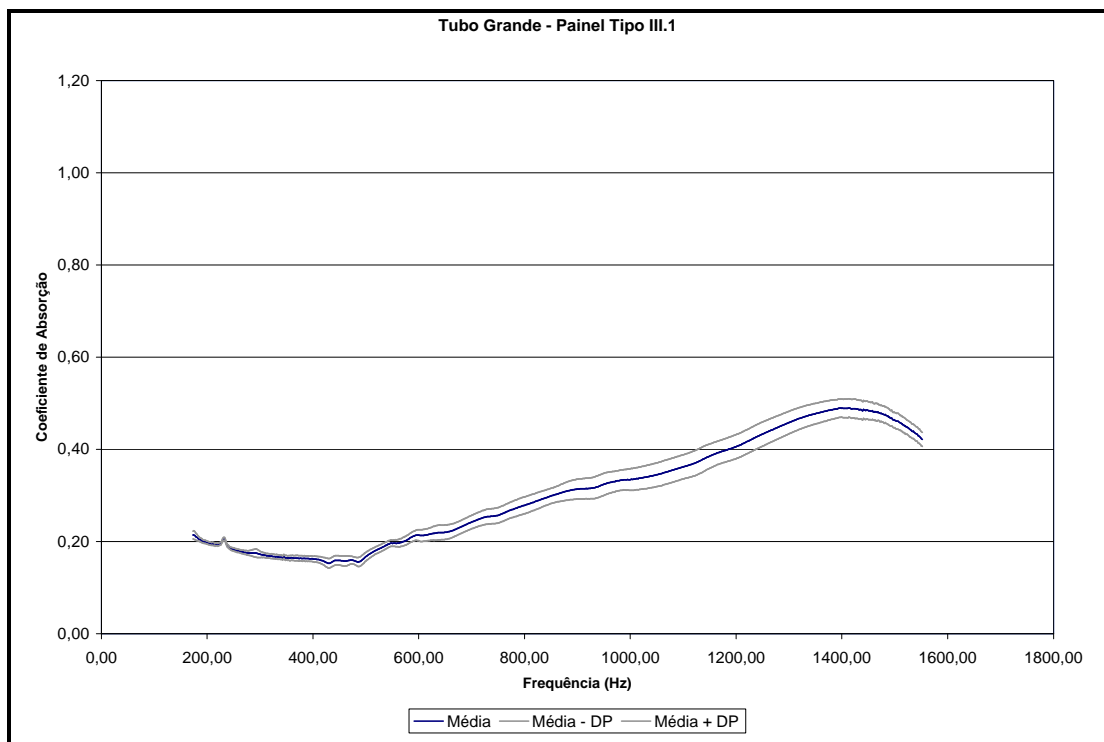


Figura 5.32 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo III.1.

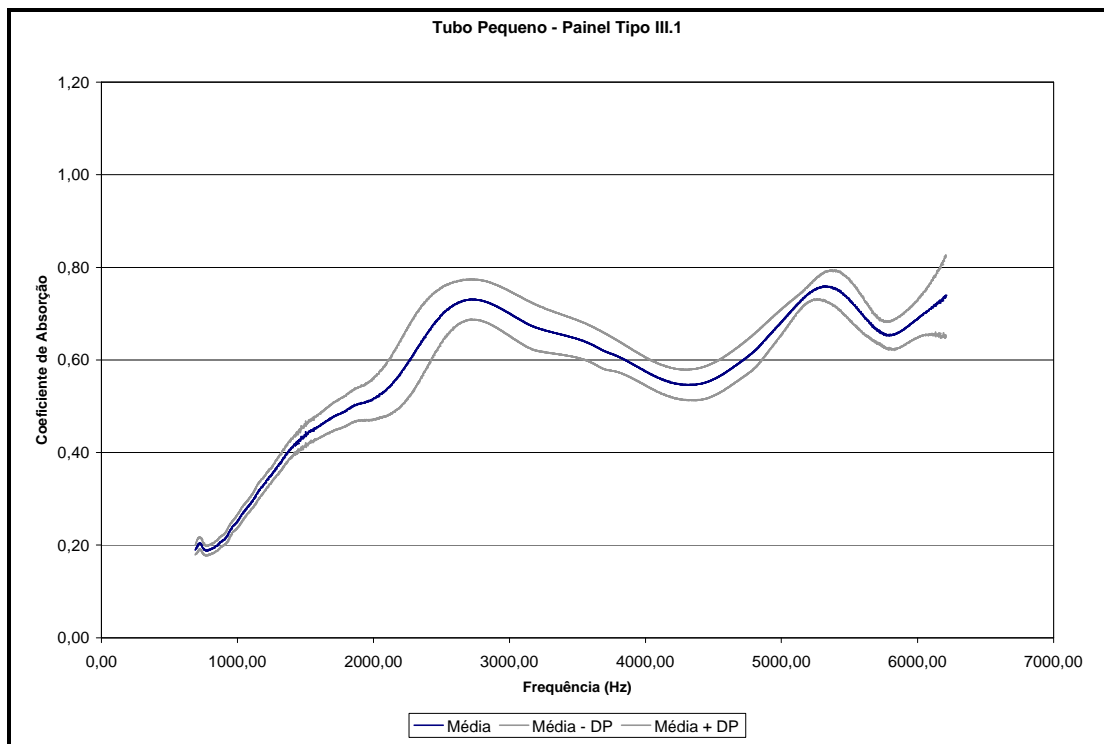


Figura 5.33 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo III.1.

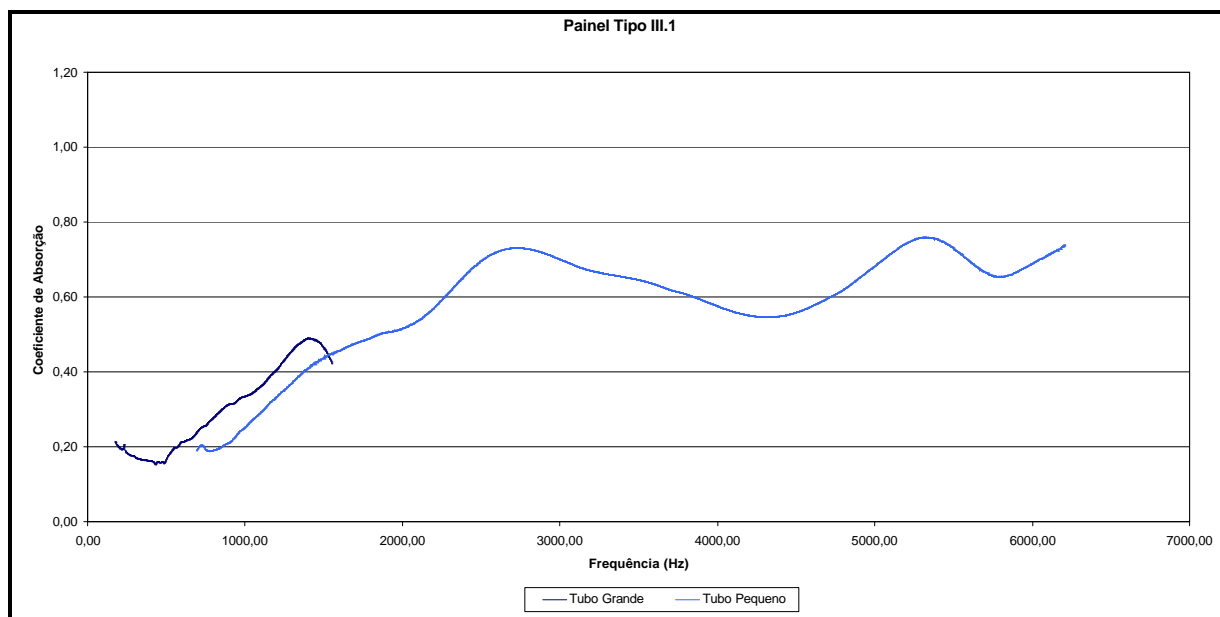


Figura 5.34 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo III.1.

Nas Figuras 5.35 e 5.36, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo III.2. Na Fig. 5.37 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

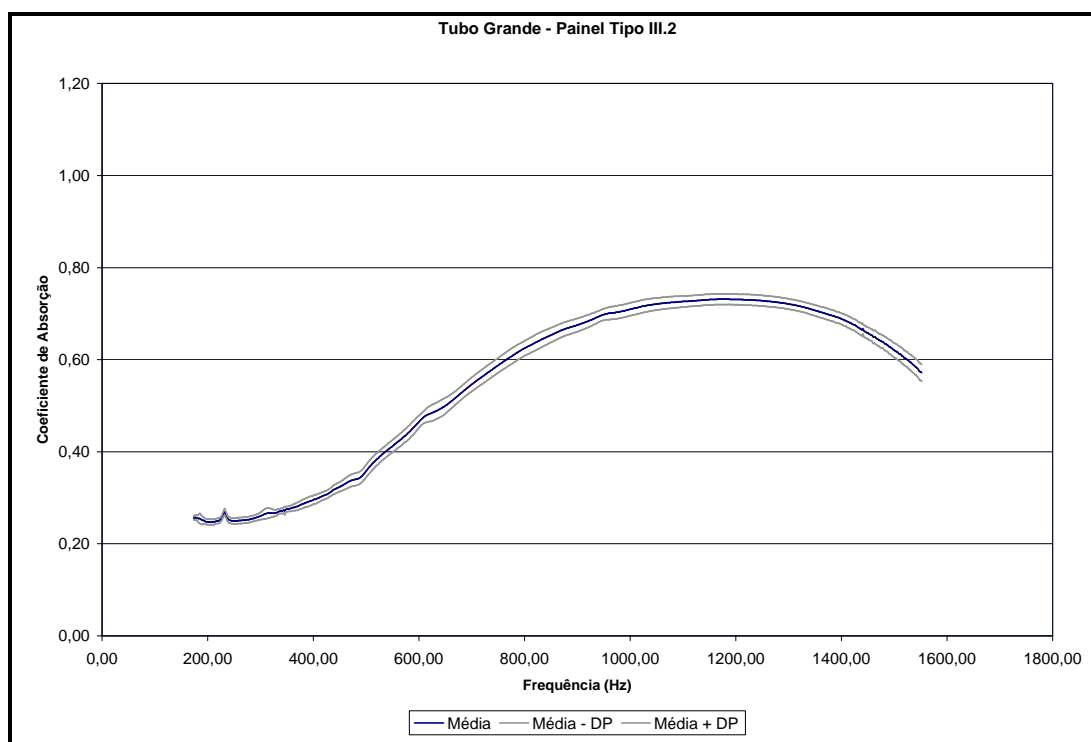
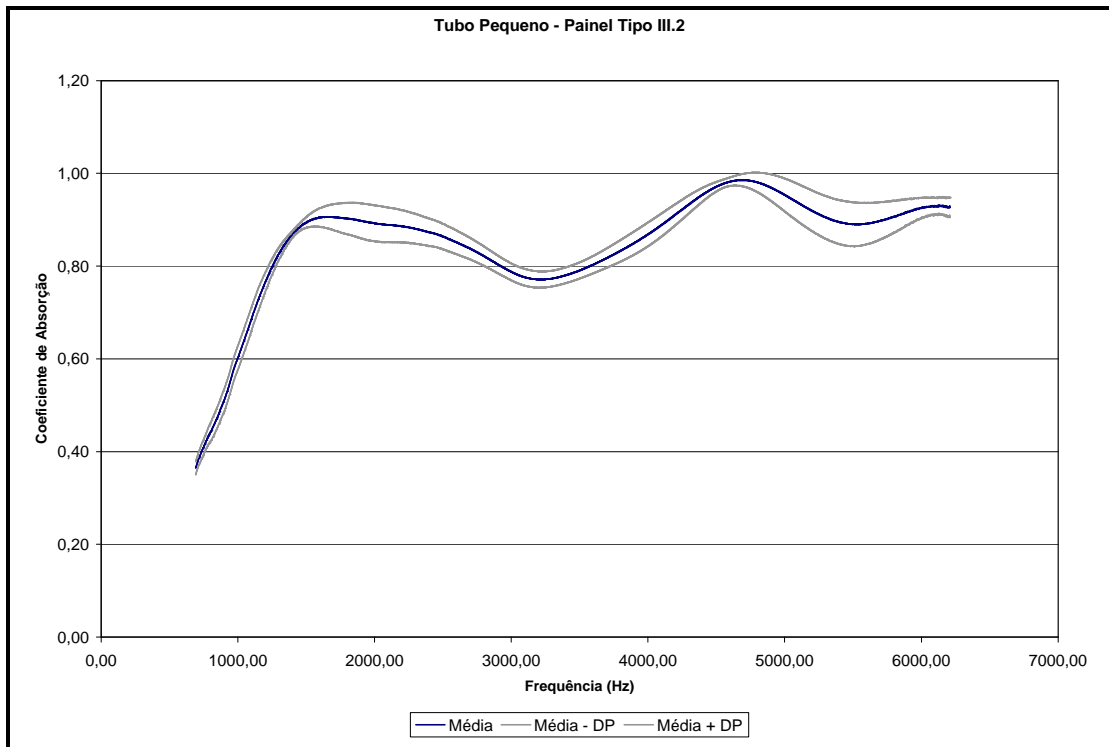
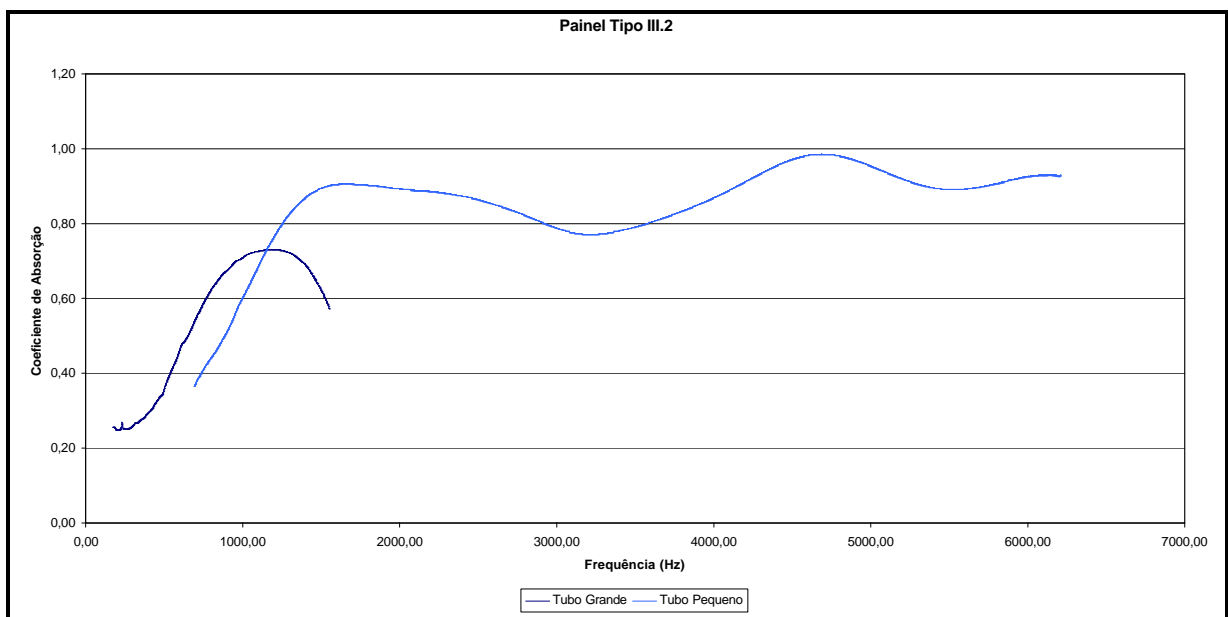


Figura 5.35 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo III.2.



**Figura 5.36 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo III.2.**



**Figura 5.37 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo III.2.**

Nas Figuras 5.38 e 5.39, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo IV. Na Fig.

5.40 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.

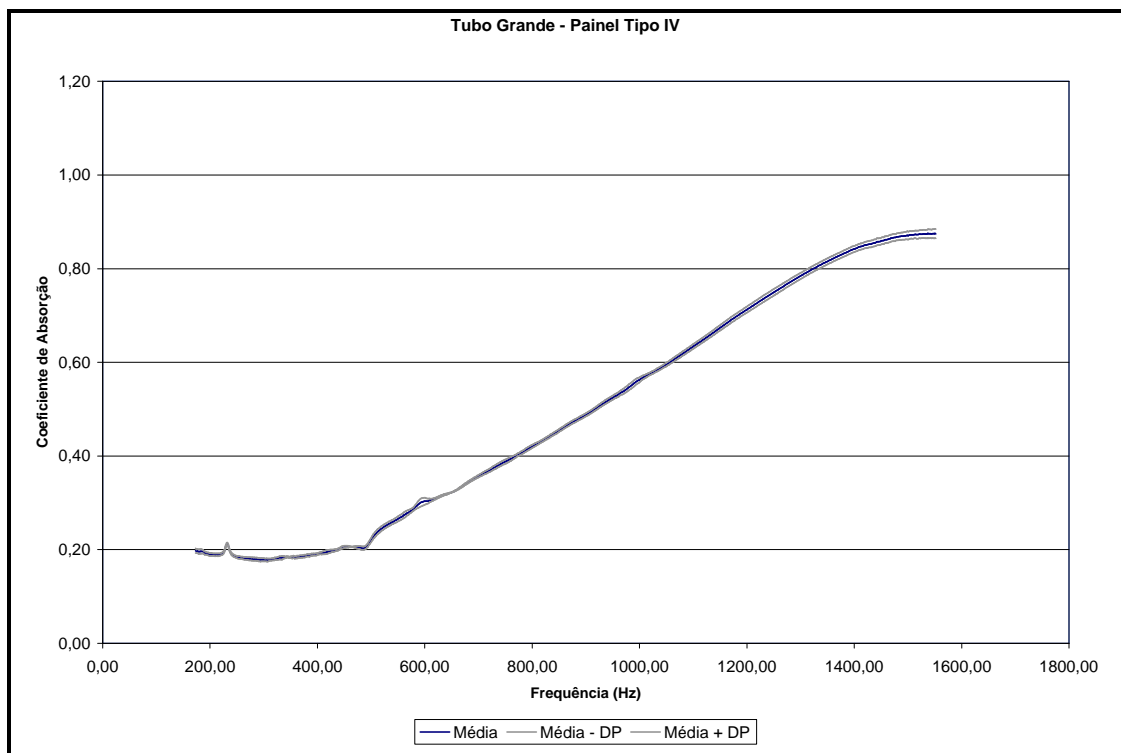


Figura 5.38 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo IV.

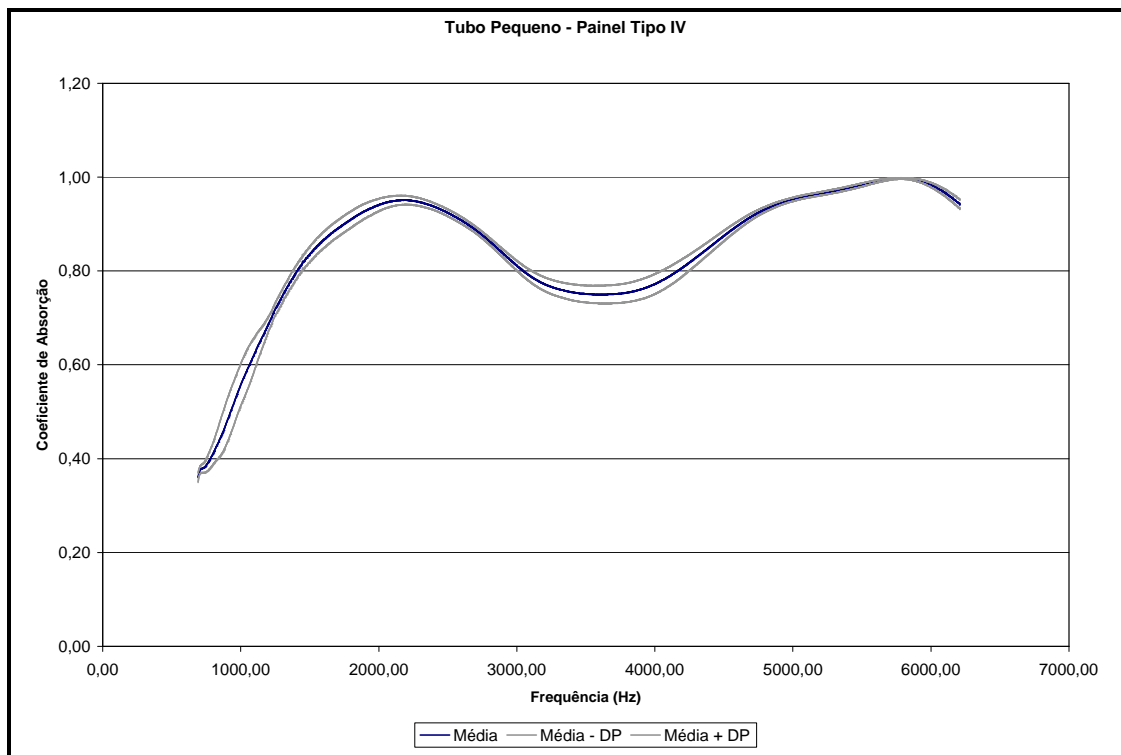
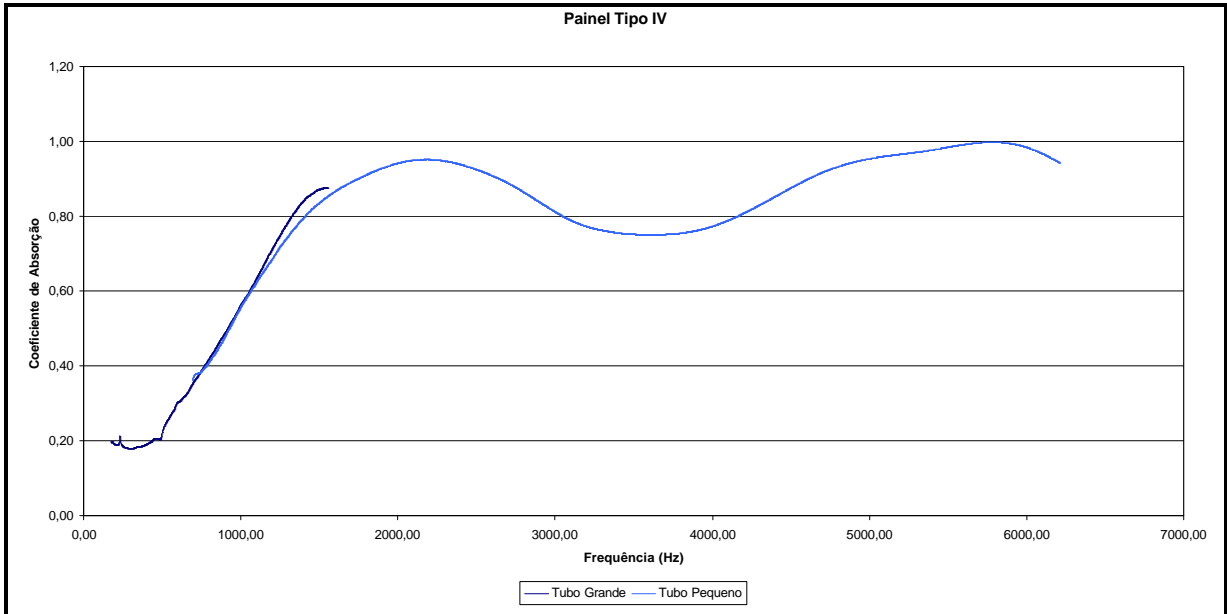


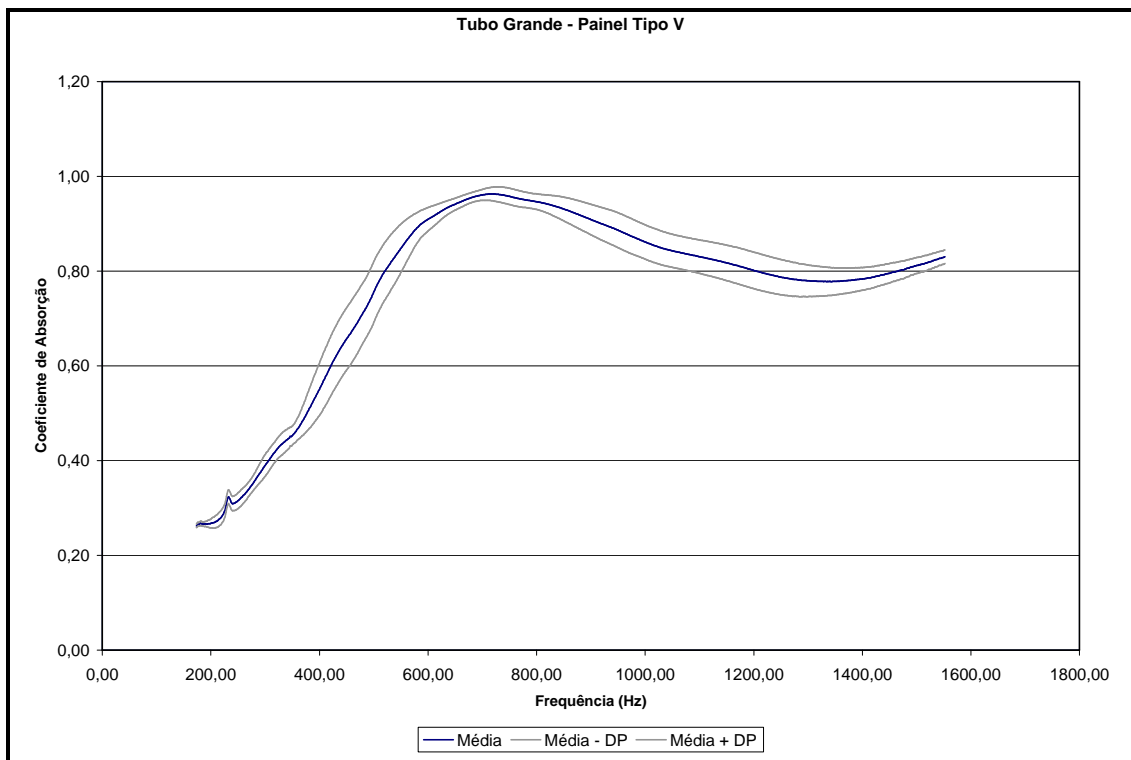
Figura 5.39 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo IV.





**Figura 5.40 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo IV.**

Nas Figuras 5.41 e 5.42, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos nos tubos de impedância (grande e pequeno, respectivamente) para os painéis do Tipo V. Na Fig. 5.43 estes resultados são sobrepostos mostrando os valores do coeficiente de absorção médio em toda a faixa válida medida.



**Figura 5.41 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância grande para o painel Tipo**

**V.**

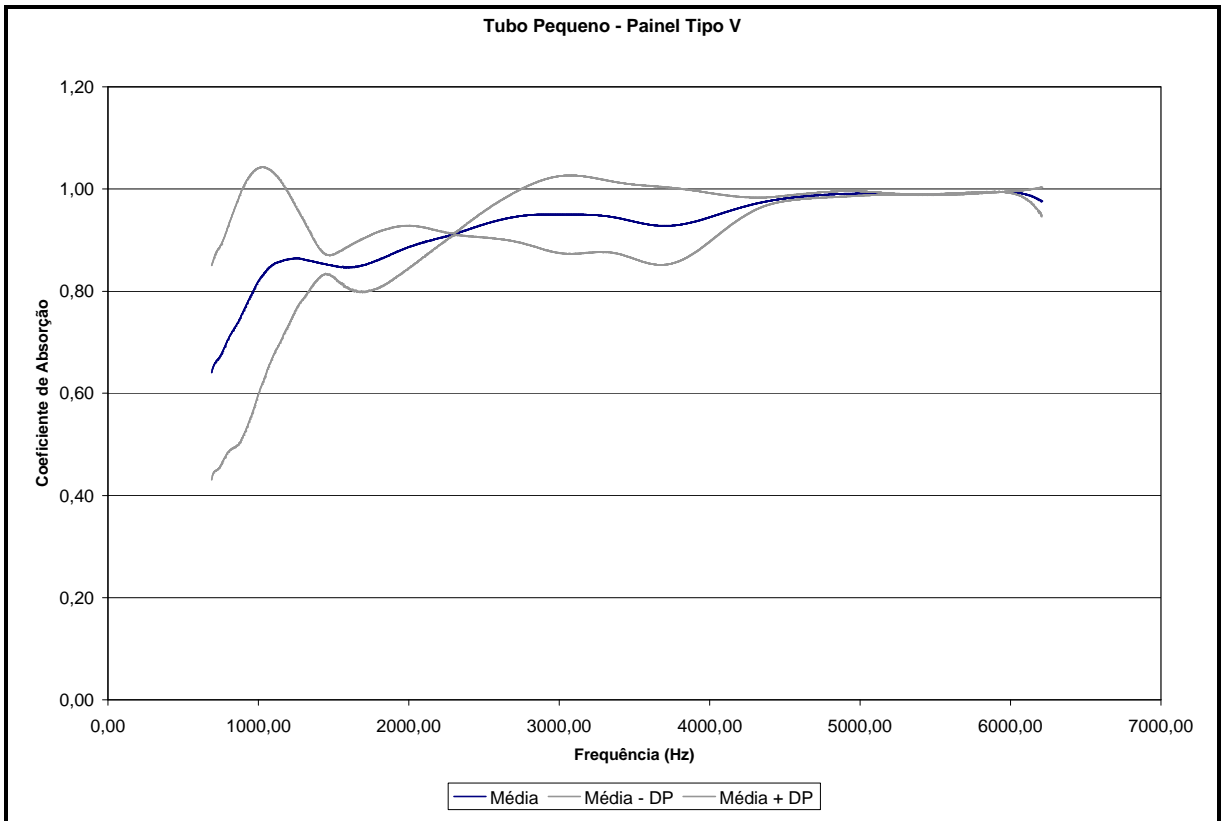


Figura 5.42 – Coeficiente de absorção médio no tubo de impedância pequeno para o painel Tipo V.

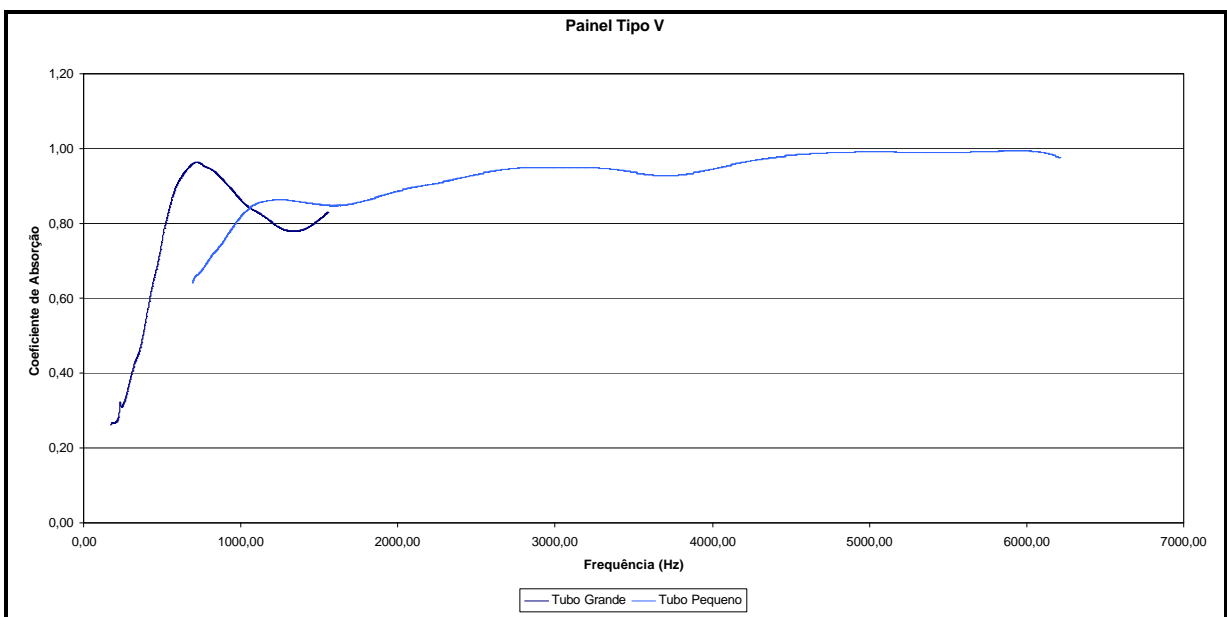


Figura 5.43 – Coeficiente de absorção médio nos tubos de impedância para o painel Tipo V.

### 5.2.3 – Considerações e Comparações dos Resultados

O primeiro ponto importante observado durante a realização dos experimentos foi a grande variação entre as espessuras das amostras de fibra de coco que deveriam ser “iguais”. Por isso na Tab. 5.2 apresentam-se os valores das espessuras das amostras antes dos ensaios, depois dos ensaios e sua espessura nominal especificada pelo fabricante.

**Tabela 5.2 – Espessuras dos painéis analisados nos tubos de impedância. (continua)**

<b>Tipo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Espessura Nominal (m)</b>	<b>Espessura Real Antes (m)</b>	<b>Espessura Real Depois (m)</b>
<b>I – Tubo Grande</b>	PFC 31	0,05	0,039	0,035
	PFC 32	0,05	0,040	0,037
	PFC 33	0,05	0,044	0,040
	PFC 34	0,10	0,078	0,070
	PFC 35	0,10	0,076	0,069
	PFC 36	0,10	0,083	0,075
<b>I – Tubo Pequeno</b>	PFC 49	0,05	0,030	0,025
	PFC 50	0,05	0,028	0,024
	PFC 51	0,05	0,033	0,028
	PFC 52	0,10	0,045	0,039
	PFC 53	0,10	0,047	0,042
	PFC 54	0,10	0,046	0,040
<b>II – Tubo Grande</b>	PFC 25	0,05	0,035	0,033
	PFC 26	0,05	0,039	0,035
	PFC 27	0,05	0,030	0,028
	PFC 28	0,10	0,074	0,072
	PFC 29	0,10	0,076	0,074
	PFC 30	0,10	0,076	0,073

Tabela 5.2 – Espessuras dos painéis analisados nos tubos de impedância. (conclusão)

<b>Tipo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Espessura Nominal (m)</b>	<b>Espessura Real Antes (m)</b>	<b>Espessura Real Depois (m)</b>
<b>II – Tubo Pequeno</b>	PFC 43	0,05	0,032	0,029
	PFC 44	0,05	0,029	0,027
	PFC 45	0,05	0,033	0,031
	PFC 46	0,10	0,055	0,045
	PFC 47	0,10	0,050	0,041
	PFC 48	0,10	0,054	0,043
<b>III – Tubo Grande</b>	PFC 19	0,05	0,051	0,047
	PFC 20	0,05	0,051	0,047
	PFC 21	0,05	0,053	0,048
	PFC 22	0,10	0,086	0,083
	PFC 23	0,10	0,085	0,083
	PFC 24	0,10	0,083	0,080
<b>III – Tubo Pequeno</b>	PFC 37	0,05	0,042	0,035
	PFC 38	0,05	0,041	0,033
	PFC 39	0,05	0,041	0,035
	PFC 40	0,10	0,062	0,056
	PFC 41	0,10	0,063	0,057
	PFC 42	0,10	0,066	0,059

Estas variações podem ser explicadas, pois os próprios processos de produção e corte das amostras acabam provocando uma deformação e variação da espessura das amostras em relação a suas espessuras nominais. Outro motivo, e que provavelmente causou maior prejuízo aos resultados, foi a dificuldade em colocar os corpos de prova no “porta amostras”, provocando não só a deformação da amostra após sua retirada, mas, principalmente, sua compressão e conseqüente redução da espessura, ainda no interior dos tubos, principalmente para as amostras de maior densidade. Daí explica-se o acoplamento inadequado entre a maioria das curvas dos tubos grande e pequeno das amostras de fibra de coco, fato este não observado no painel Tipo IV de espuma, já que estas amostras se acomodam com

facilidade no “porta amostras”, garantindo-se então, que no momento do ensaio, em ambos os tubos, elas tenham a mesma “espessura real absorvedora”.

Nota-se também que os valores do coeficiente de absorção de todas as amostras, com exceção em algumas faixas de frequência do painel Tipo I.1, são maiores que o dobro do coeficiente de absorção do tubo sem amostras, validando então a medição dos mesmos, porém, deve-se destacar que ainda não foram identificadas as causas destas “flutuações” do coeficiente de absorção do tubo sem amostras e que acabam por influenciar na obtenção do coeficiente de absorção dos painéis. Essas “ondulações” não são tão preocupantes neste caso, visto que estão relacionadas com o comportamento dos tubos construídos e vão estar presentes com mesma influência em todas as medições, que têm como principal objetivo a análise qualitativa e não quantitativa dos resultados.

O painel do Tipo V foi o que apresentou maiores variações dos valores de desvio padrão calculados. Isto se deve ao fato de sua superfície ter a forma de cunhas e, conseqüentemente, das amostras não apresentarem as mesmas configurações, principalmente nas amostras utilizadas no tubo pequeno que tem apenas 0,025 m de diâmetro, frente às cunhas que têm 0,125 m de comprimento. Os demais painéis apresentaram desvios padrões pequenos, comprovando que os valores médios obtidos retratam o comportamento da população de amostras analisadas.

Nas Figuras 5.44, 5.45 e 5.46, apresenta-se a influência da variação da espessura dos painéis dos Tipos I, II e III, respectivamente, no comportamento do coeficiente de absorção.

Neste caso (painéis Tipo I), a variação da espessura de 0,05 m para 0,1 m provocou pequenas mudanças nos valores do coeficiente de absorção, não ultrapassando 10% nas baixas frequências.

Já para os painéis do Tipo II a variação da espessura de 0,05 m para 0,1 m, provocou mudanças nos valores do coeficiente de absorção, com diferenças ultrapassando 20% na faixa de 1800 a 2700 Hz.

Também para os painéis do Tipo III a variação da espessura de 0,05 m para 0,1 m provocou mudanças nos valores do coeficiente de absorção, com diferenças em algumas faixas de frequência ultrapassando 40%.

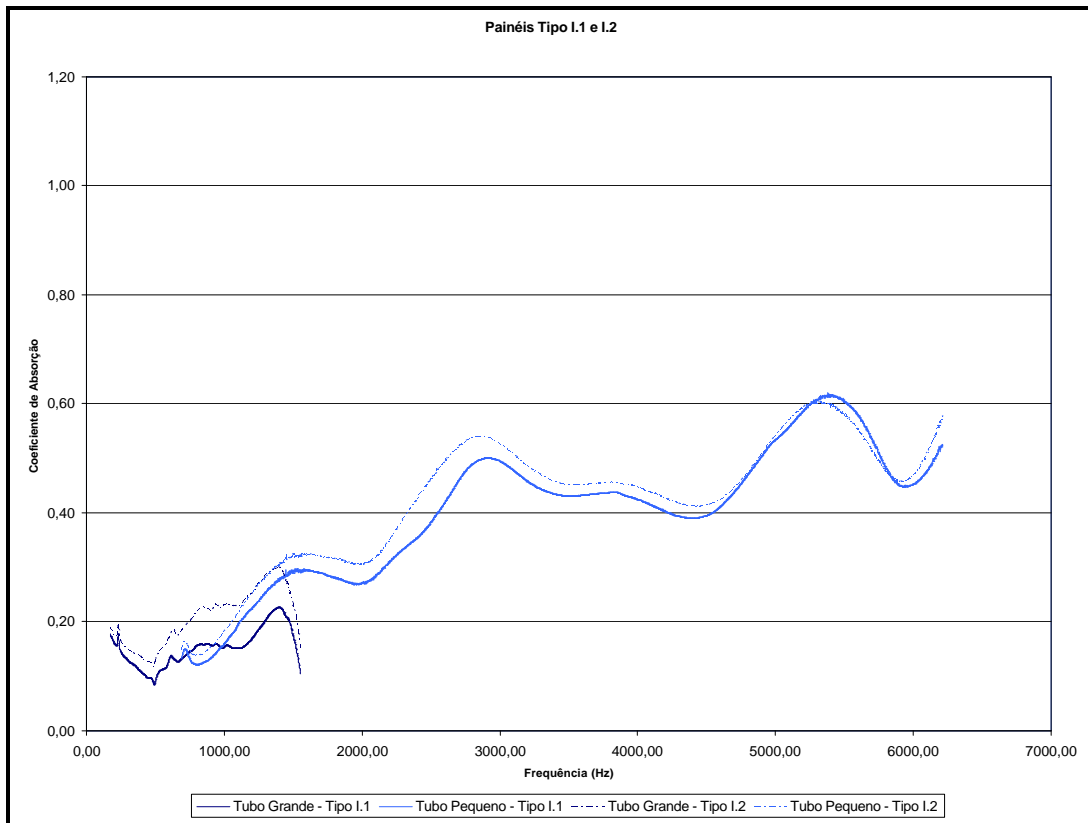


Figura 5.44 – Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo I.1 e I.2.

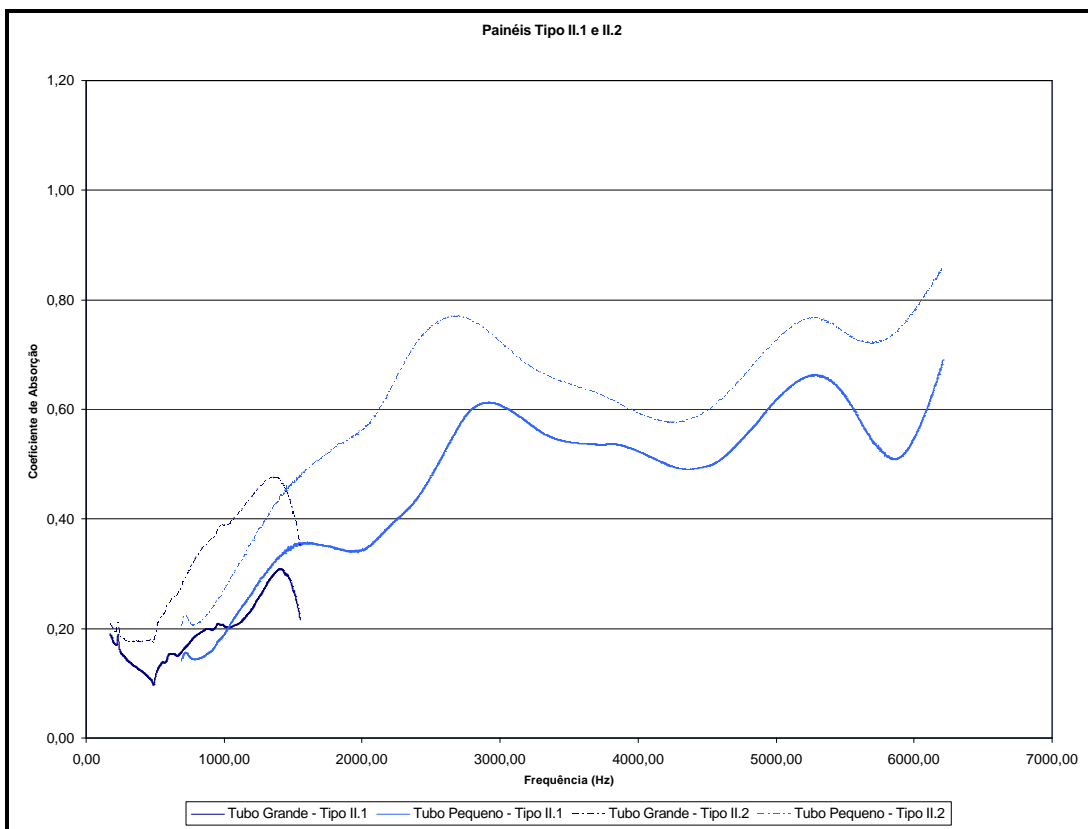
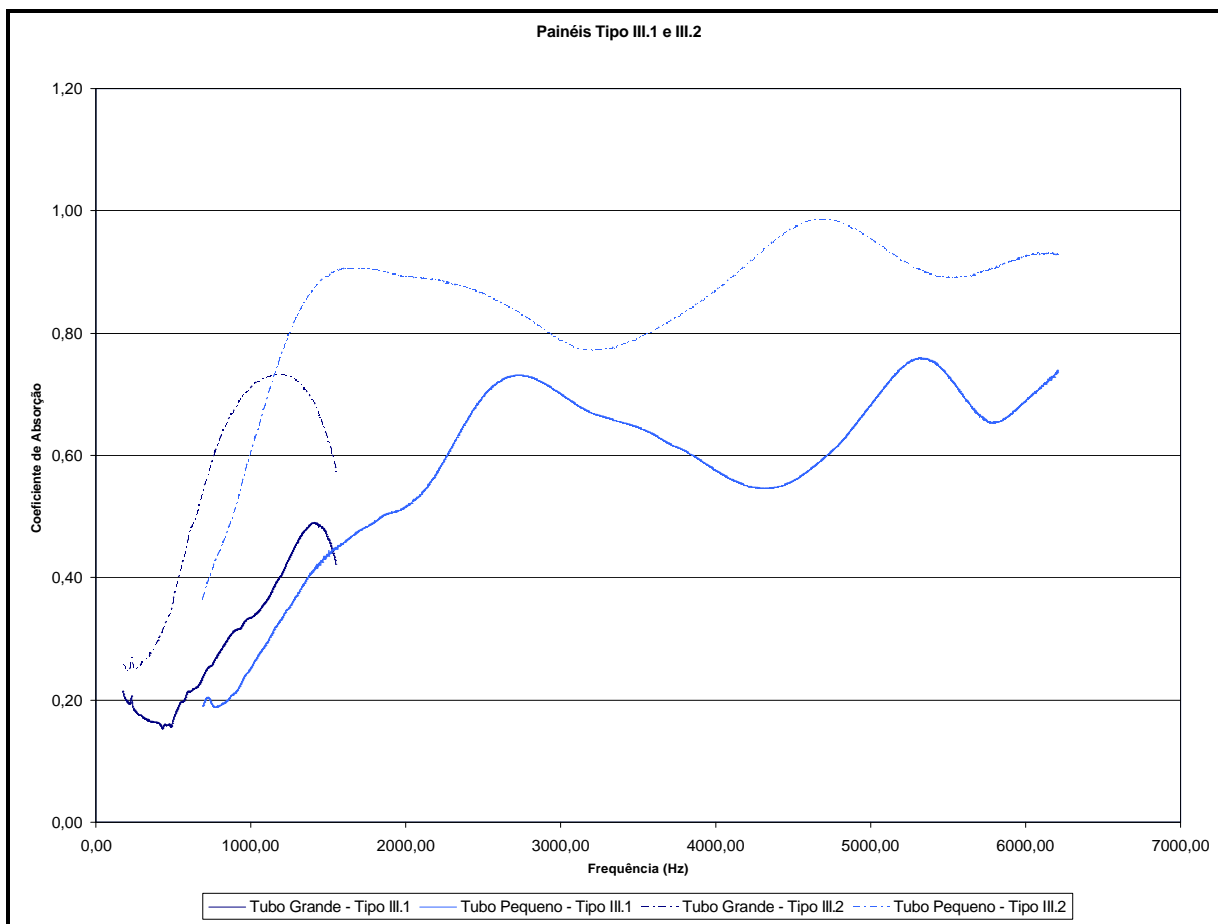
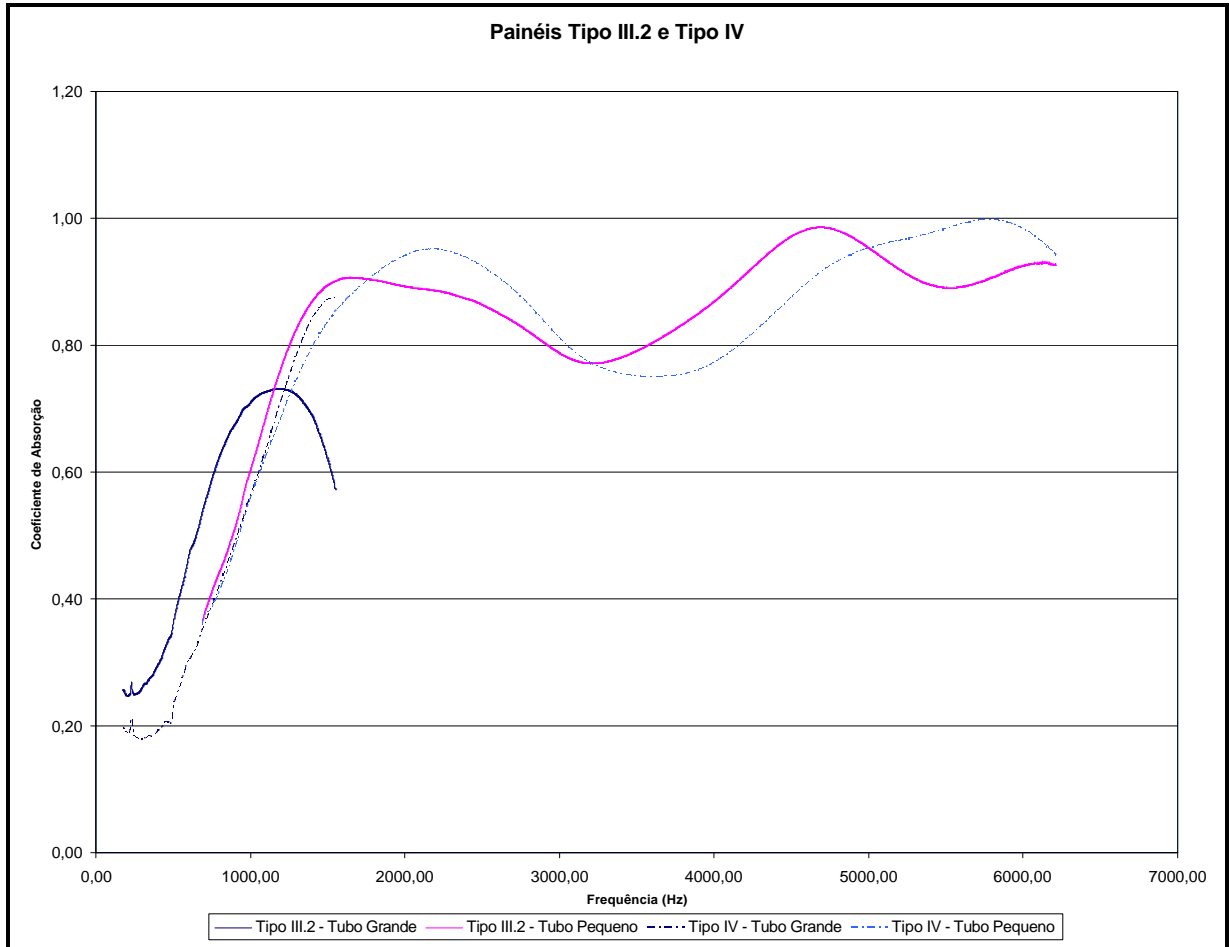


Figura 5.45 – Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo II.1 e II.2.



**Figura 5.46 – Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância dos painéis Tipo III.1 e III.2.**

Sendo assim, escolheu-se o painel Tipo III.2, que apresentou os melhores resultados de coeficiente de absorção, para ser comparado com o painel Tipo IV (Ver Fig. 5.47). Verifica-se, de forma geral, que os dois tipos apresentam um comportamento similar, porém, em baixas frequências o comportamento do Painel Tipo III.2 é superior. Provavelmente se não fosse a compressão sofrida pelo Painel do Tipo III.2 ao ser acomodado no “porta-amostras”, como já comentado anteriormente, sua espessura absorvedora real seria maior, não ocorreria o fechamento de seus poros e, conseqüentemente, seu coeficiente de absorção seria superior ao do painel Tipo IV também nas altas frequências.



**Figura 5.47 – Coeficientes de absorção médios nos tubos de impedância para os painéis Tipo III.2 e IV.**



### 5.3 – MINI-CÂMARA REVERBERANTE

O ensaio para determinação do coeficiente de absorção na mini-câmara reverberante (GUEDES, 2007) foi realizado com base nas normas ISO-354 (1999), relativa à Medição da Absorção Sonora em Câmara Reverberante, e ISO-3740 (1998), relativa à determinação de níveis de potência sonora em câmaras reverberantes. A norma ISO-354 descreve a metodologia para a medição em câmara reverberante do coeficiente de absorção sonora de materiais em geral. Esta norma serve de base para o Documento 02:135.01-002:1997 (Projeto de Norma Brasileira) utilizado pela ABNT.

O princípio de execução deste ensaio baseia-se na medição dos tempos de reverberação na mini-câmara reverberante, com e sem a amostra no seu interior. Quando um som é gerado dentro de um ambiente, escuta-se, primeiramente, o som direto e, em seguida, o som refletido. No caso em que essas sensações se sobrepõem, confundindo o som direto e o refletido, ter-se-á a impressão de uma audição mais prolongada. A esse fenômeno se dá o nome de reverberação. Define-se como tempo de reverberação (TR) o tempo necessário para a intensidade de um som decair por banda de frequência de um fator de  $10^{-6}$  (-60 dB) de seu valor inicial, depois de cessada a fonte sonora.

Desses tempos, calcula-se a área de absorção sonora equivalente da amostra, para então se determinar o coeficiente de absorção. Na Fig. 5.48, tem-se uma visão geral do conjunto de medição.

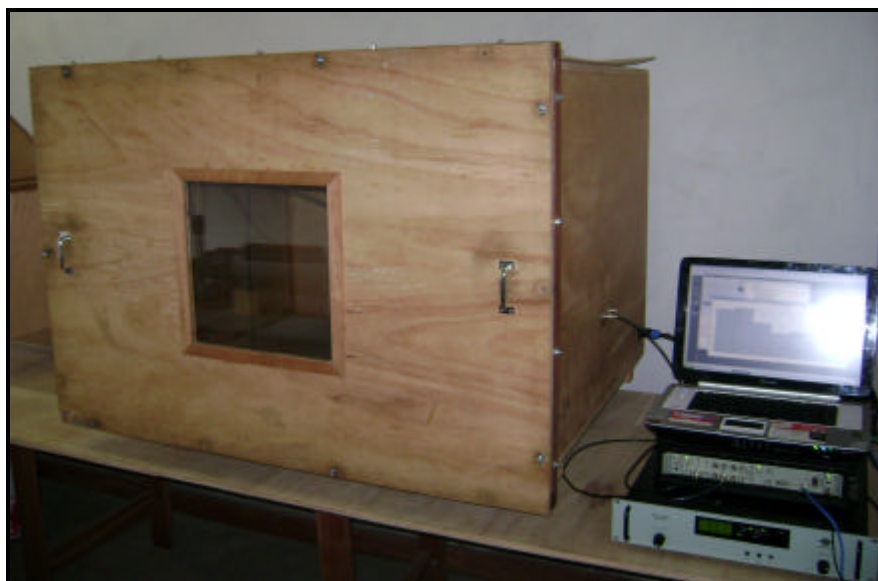


Figura 5.48 – Conjunto para medição do tempo de reverberação – mini-câmara reverberante.

Primeiramente, para a realização destes ensaios foi necessário, assim como no ensaio nos tubos de impedância, utilizar um sistema de aquisição e tratamento de sinais, neste caso o sistema Pulse, composto de um computador para armazenamento e visualização dos dados e um módulo com uma saída (para a fonte sonora) e uma entrada (para o microfone de campo difuso). O sinal de saída antes de chegar na fonte sonora passa por um amplificador onde pode-se ajustar o nível do sinal dentro da mini-câmara (Ver Fig. 5.49).

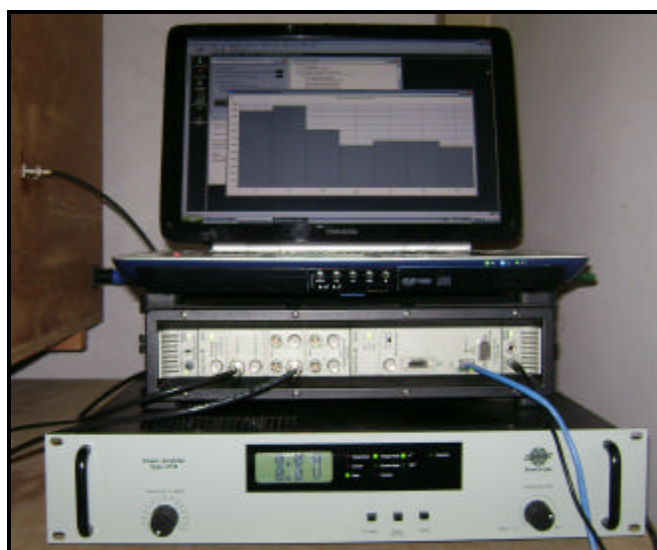


Figura 5.49 – Sistema de aquisição de dados (*notebook*, “Pulse”, amplificador).

A fonte sonora (Ver Fig. 5.50) é composta de um alto-falante instalado no canto inferior da mini-câmara reverberante. Embora nenhuma sugestão para localização desta fonte sonora esteja disponível na ISO 354, é muito comum se instalar a mesma nos cantos da sala, visto que nessa posição existe uma maior probabilidade de que uma quantidade maior de modos acústicos da sala seja excitada.

Na Fig. 5.51, pode-se observar em detalhe os difusores instalados na parte superior da mini-câmara com o objetivo de melhorar a distribuição sonora no interior da mesma e observa-se também o suporte utilizado para posicionar em qualquer posição desejada, o microfone dentro da mini-câmara.



Figura 5.50 – Fonte sonora da mini-câmara reverberante.



Figura 5.51 – Detalhe da fonte sonora, dos difusores e do suporte para o microfone no interior da mini-câmara reverberante.

A mini-câmara utilizada tem as seguintes dimensões 1,2 m x 1 m x 0,8 m e foi construída em compensado com um visor frontal de vidro (Ver Fig. 5.52).



**Figura 5.52 – Vista frontal da mini-câmara reverberante com um visor de vidro.**

Para a realização do ensaio utiliza-se preferencialmente uma sala climatizada onde as condições ambientais se mantenham constantes (por exemplo, temperatura de 23 °C, umidade relativa de 50% e pressão atmosférica em torno de 101,325 kPa). Nesta sala, as amostras e todos os equipamentos permanecem durante todo o período do experimento.

Primeiramente, monta-se o sistema Pulse (computador e módulo de aquisição), conectando-os com o amplificador, a fonte sonora e com o microfone localizado no interior da câmara. Só depois de realizada as conexões de todos os cabos e de todos os transdutores devem-se ligar os equipamentos.

Em seguida, com a mini-câmara vazia (sem a amostra que será analisada), inicia-se o processo de medição, que consiste em excitar a mini-câmara com um ruído “rosa” de banda larga e realizar medições do tempo de reverberação em instantes de tempo diferentes em seis posições distintas dentro da câmara. Foram realizadas seis medições em diferentes instantes de tempo e em cada uma destas posições escolhidas dentro da câmara. Segundo o texto atual da norma ISO 354 as posições do microfone devem estar separadas por pelo menos 1,5 m, distantes 2,0 m das posições da fonte e 1,0 m afastadas de quaisquer superfícies da câmara, mas para a câmara reverberante em escala reduzida esses valores de distância também deverão estar em escala (GUEDES, 2007). Em virtude disso, as posições do microfone devem estar separadas por pelo menos 0,25 m, distantes

0,33 m das posições da fonte e 0,17 m afastadas de quaisquer superfícies da câmara.

O nível global de pressão sonora no interior da mini-câmara não deve ultrapassar 90 dB para que seja possível considerar o comportamento linear do som dentro da câmara. Os tempos obtidos são processados no analisador que informa o tempo de reverberação médio por banda de frequência. Repete-se então este procedimento só que, agora, com a amostra em estudo no interior da mini-câmara reverberante.

A partir destes valores médios obtidos pode-se então calcular o coeficiente de absorção. O cálculo do coeficiente de absorção se inicia com a determinação da área de absorção sonora equivalente da câmara que é a área hipotética total de uma superfície de absorção, sem efeito de difração, que se fosse o único elemento absorvente presente na câmara, produziria o mesmo tempo de reverberação da câmara em questão. Para a câmara reverberante vazia este valor é representado por  $A_1$  e para a câmara reverberante contendo a amostra do ensaio é representado por  $A_2$ . A área de absorção sonora equivalente de uma amostra de ensaio, representada pela letra  $A$  é dada pela diferença entre a área de absorção sonora equivalente de uma câmara com e sem amostra de ensaio. Estas áreas de absorção são expressas pelas seguintes equações:

$$A_1 = \frac{55,3V}{cT_1}, \quad (5.10)$$

$$A_2 = \frac{55,3V}{cT_2}, \quad (5.11)$$

sendo:  $V$  – Volume da mini-câmara reverberante vazia em  $m^3$ ;  $T_1$  – Tempo de reverberação da mini-câmara vazia por oitava em s;  $T_2$  – Tempo de reverberação da mini-câmara com amostra por oitava em s;  $c$  – Velocidade de propagação do som no ar em m/s.

Logo:

$$A = 55,3 \frac{V}{c} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \quad (5.12)$$

Assim, determina-se pela Eq. 5.13 o coeficiente de absorção,  $a$ :

$$a = \frac{A}{S}, \quad (5.13)$$

sendo:  $a$  – Coeficiente de absorção por oitava;  $S$  – Área da superfície absorvedora da amostra em  $m^2$ .

Todo este processo deve ser repetido para as demais amostras. Após a medição de todas estas informações, calcula-se a média aritmética entre os coeficientes de absorção obtidos para cada amostra, mostrando-se os resultados na forma gráfica (coeficiente de absorção em função da frequência em Hz).

### 5.3.1 – Resultados dos Painéis Acústicos

Foram analisadas, assim como nos tubos de impedância, três densidades de painéis de fibra de coco, sendo que para cada densidade foram analisadas duas espessuras (Ver Fig. 5.53), totalizando seis tipos de painéis de fibra de coco. Como forma de comparar qualitativamente os resultados obtidos para os painéis de fibra de coco, foram também analisados dois tipos de espumas comercialmente utilizadas para controle acústico de recintos.



Figura 5.53 – Amostras do painel de  $130 \text{ kg/m}^3$  com 0,05 m e 0,1 m de espessura para o ensaio na mini-câmara reverberante.

Para facilitar o entendimento utiliza-se a mesma nomenclatura da Tab. 5.1 descrita no ensaio dos tubos de impedância. Foram confeccionados três corpos de provas de cada tipo de painel (Ver Fig. 5.54) com a forma retangular e dimensões de 0,60 x 0,50 m, retiradas de mantas em lotes de fabricação aleatórios e em posições variadas. Estes corpos de prova também foram ensaiados dos dois lados obtendo-se o coeficiente de absorção para as duas superfícies e aumentando-se então o número de amostras para seis de cada tipo.



Figura 5.54 – Amostras preparadas para o ensaio na mini-câmara.

Todas as amostras foram colocadas dentro de um “anteparo refletor” (moldura de acrílico), mostrado nas Figuras 5.55 e 5.56, durante a realização dos ensaios, evitando-se assim que as superfícies laterais das amostras funcionassem também como superfícies absorvedoras (ISO-354,1999), distorcendo os valores dos coeficientes de absorção calculados.



Figura 5.55 – Anteparo refletor para proteção lateral das amostras.



Figura 5.56 – Amostra no anteparo refletor na mini-câmara.

Cada amostra foi identificada com uma numeração única (Ver Fig. 5.57) para melhor identificação dos resultados, visto que mesmo sendo confeccionadas de forma idêntica, as amostras apresentam diferenças físicas e geométricas facilmente perceptíveis a “a olho nu”.



Figura 5.57 – Amostras identificadas para o ensaio na mini-câmara reverberante.

Na Fig. 5.58 tem-se os dois tipos de painéis de espuma escolhidos para avaliar junto com os painéis de fibra de coco.





Figura 5.58 – Amostras dos painéis de espuma escolhidos para o ensaio na mini-câmara.

Na Fig. 5.59 observa-se que os painéis foram colocados em posições variadas dentro da mini-câmara, de forma que suas laterais não ficassem paralelas às paredes, evitando-se assim a formação de ondas estacionárias nestas regiões.

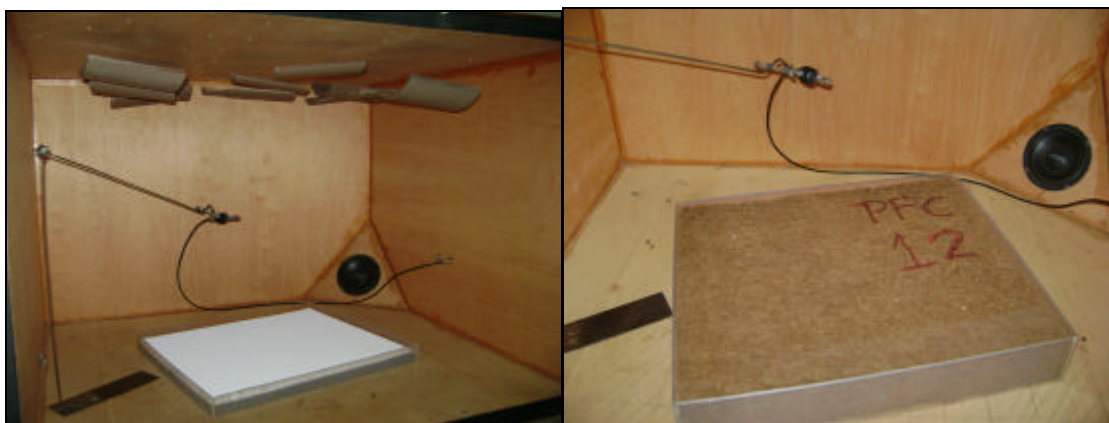


Figura 5.59 – Posicionamento das amostras no interior da mini-câmara reverberante.

Nas Figuras 5.60 e 5.61, apresentam-se os valores do tempo de reverberação e do coeficiente de absorção médio por oitava, com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos na mini-câmara reverberante sem amostras. Estes resultados, comentados no próximo item deste capítulo, servem para atestar a qualidade dos demais resultados medidos na mini-câmara em questão.

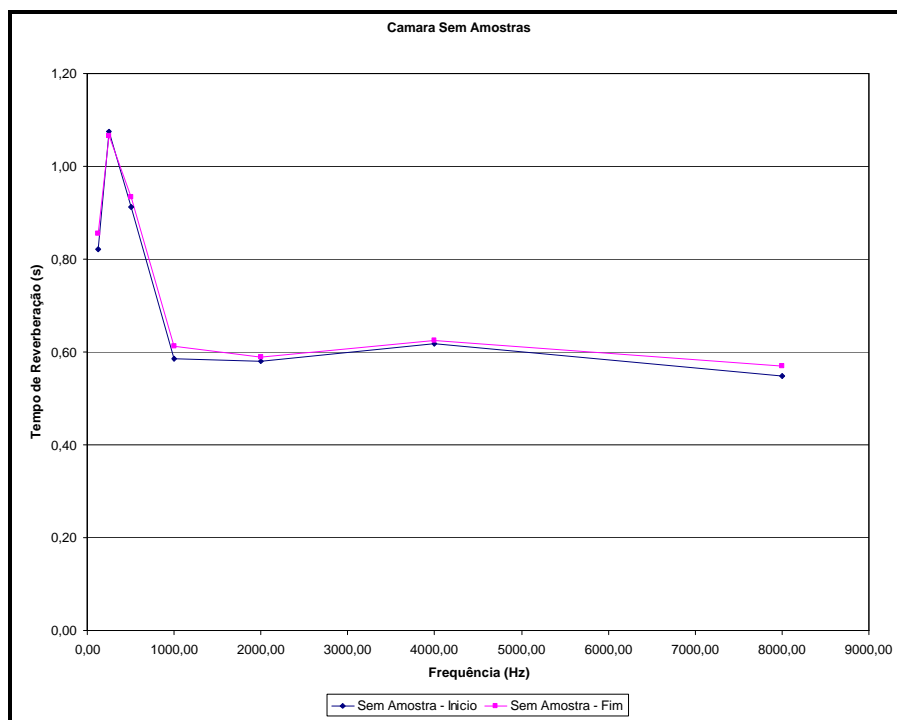


Figura 5.60 – Tempo de reverberação da mini-câmara sem amostras.

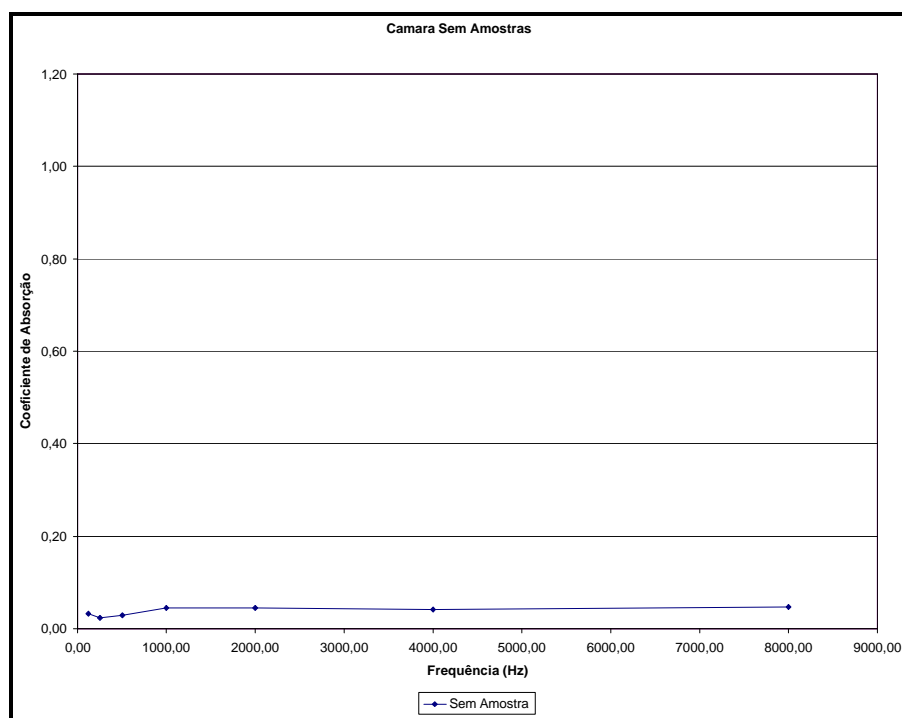


Figura 5.61 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara sem amostras.

Nas Figuras 5.62, 5.63, 5.64, 5.65, 5.66 e 5.67, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio por oitava com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos na mini-câmara reverberante para os painéis do Tipo I, Tipo II e Tipo III com as espessuras de 0,05 m e 0,10 m.

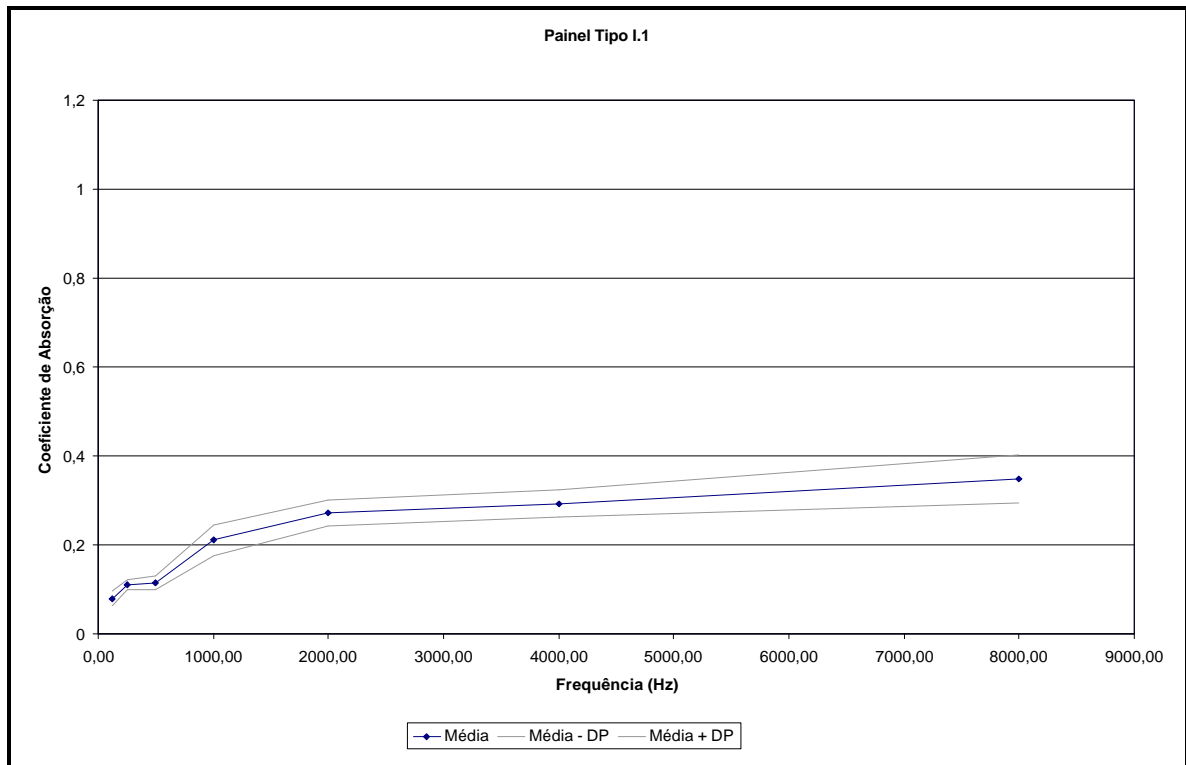


Figura 5.62 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo I.1.

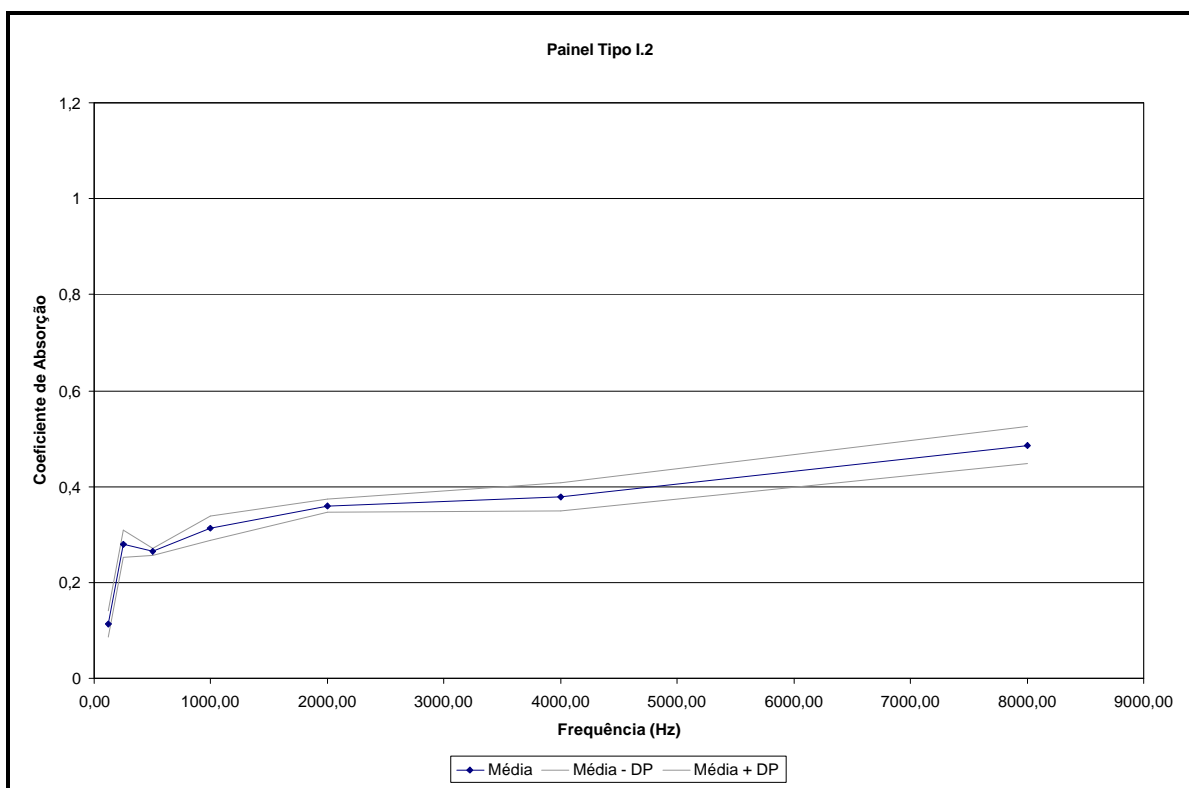


Figura 5.63 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo I.2.

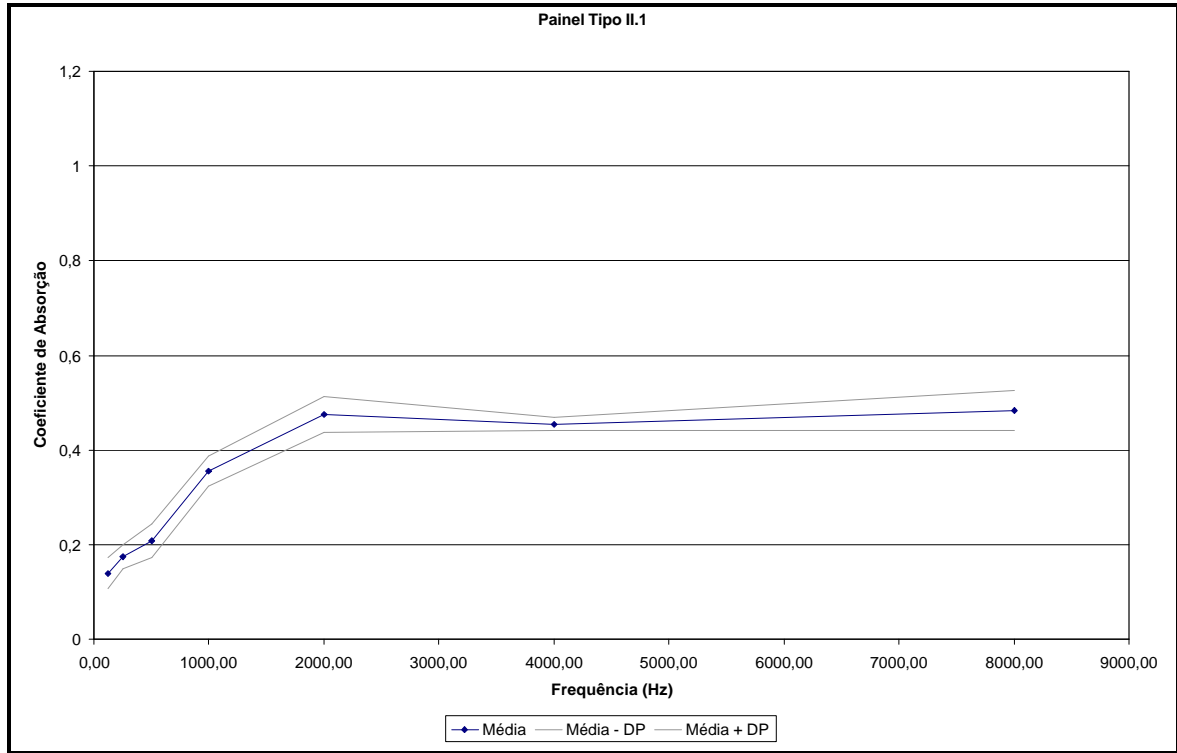


Figura 5.64 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo II.1.

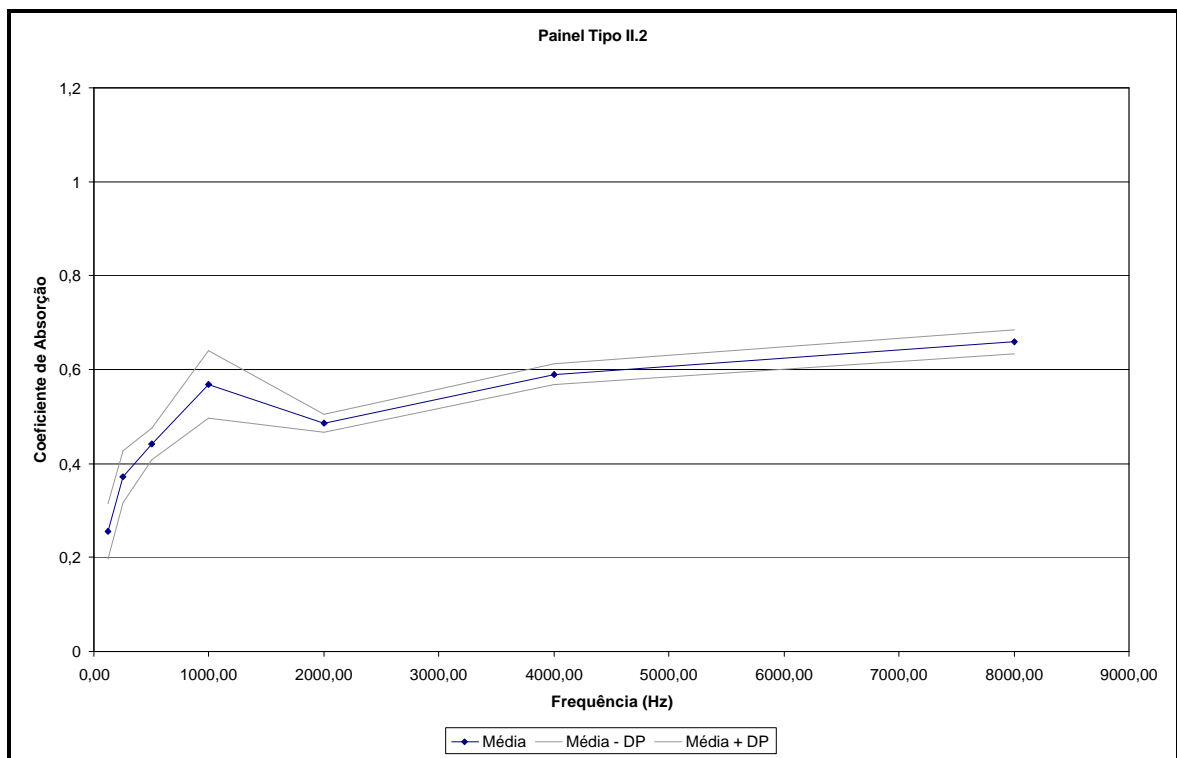


Figura 5.65 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo II.2.

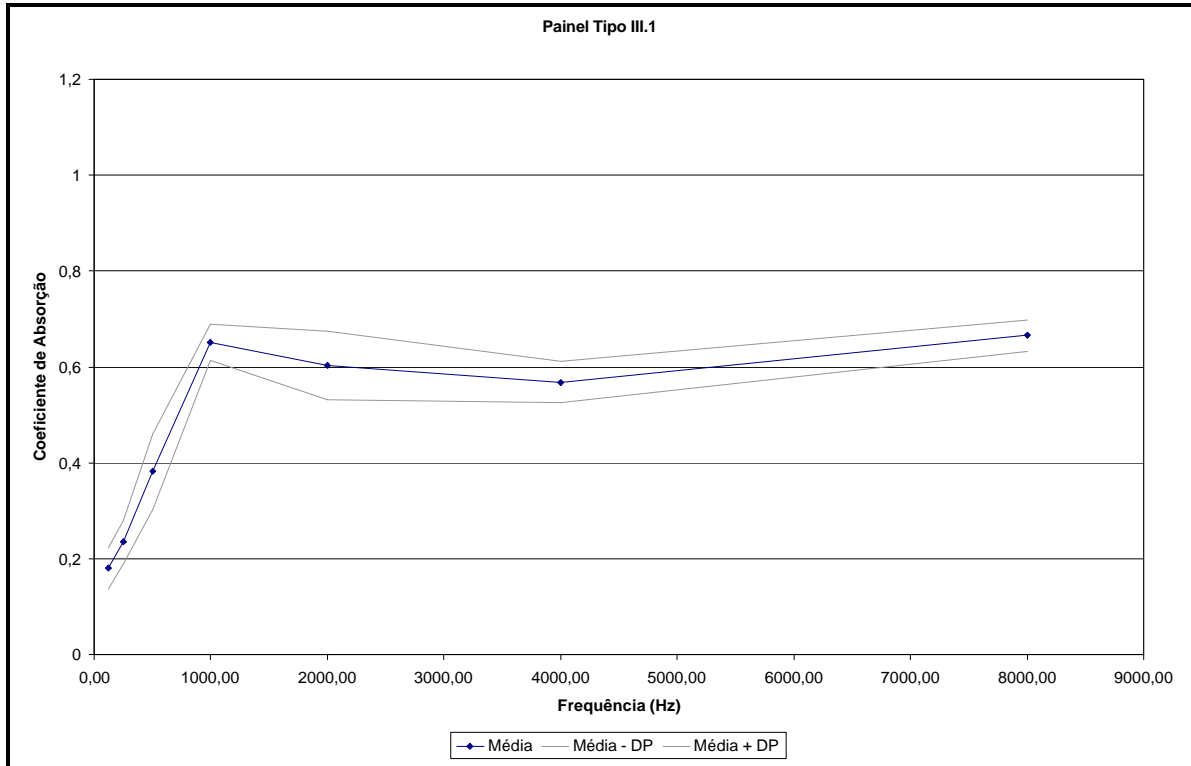


Figura 5.66 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo III.1.

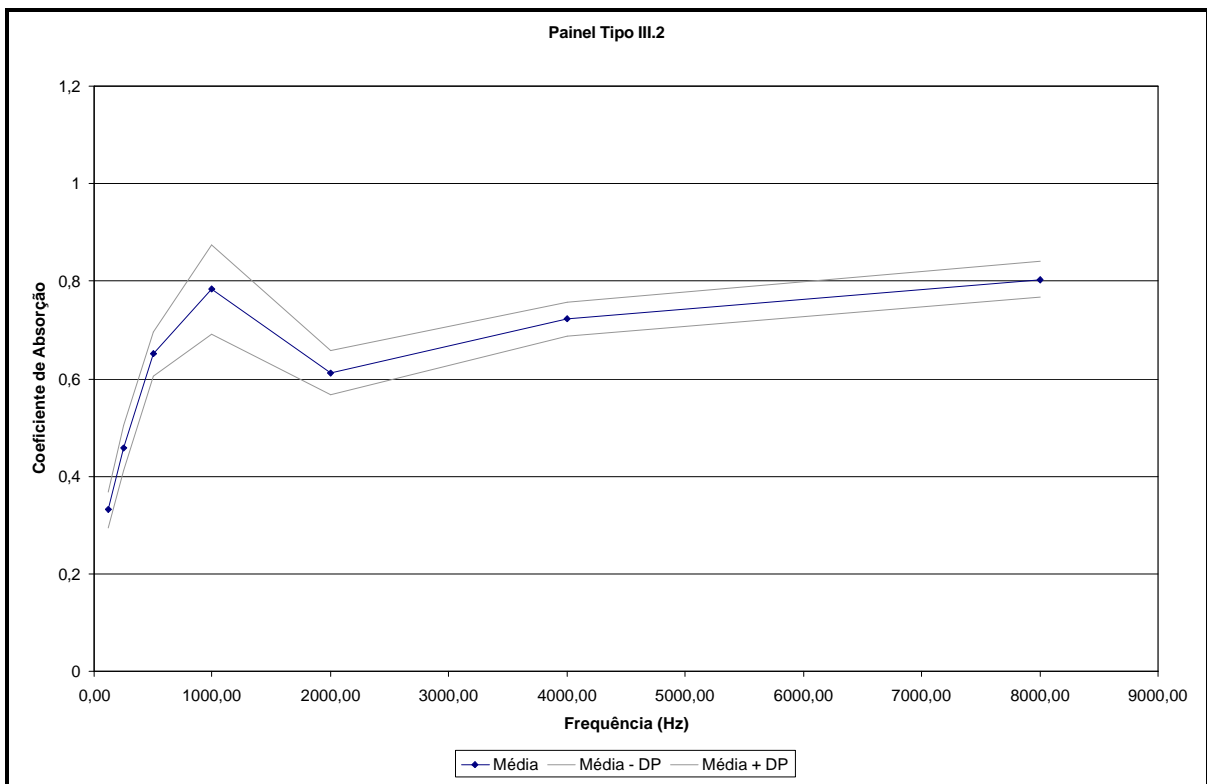


Figura 5.67 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo III.2.

Na Fig. 5.68, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio por oitava com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos na mini-câmara reverberante e na Fig. 5.69, tem-se a comparação dos resultados medidos com os dados fornecidos pelos fabricantes para os painéis do Tipo IV.

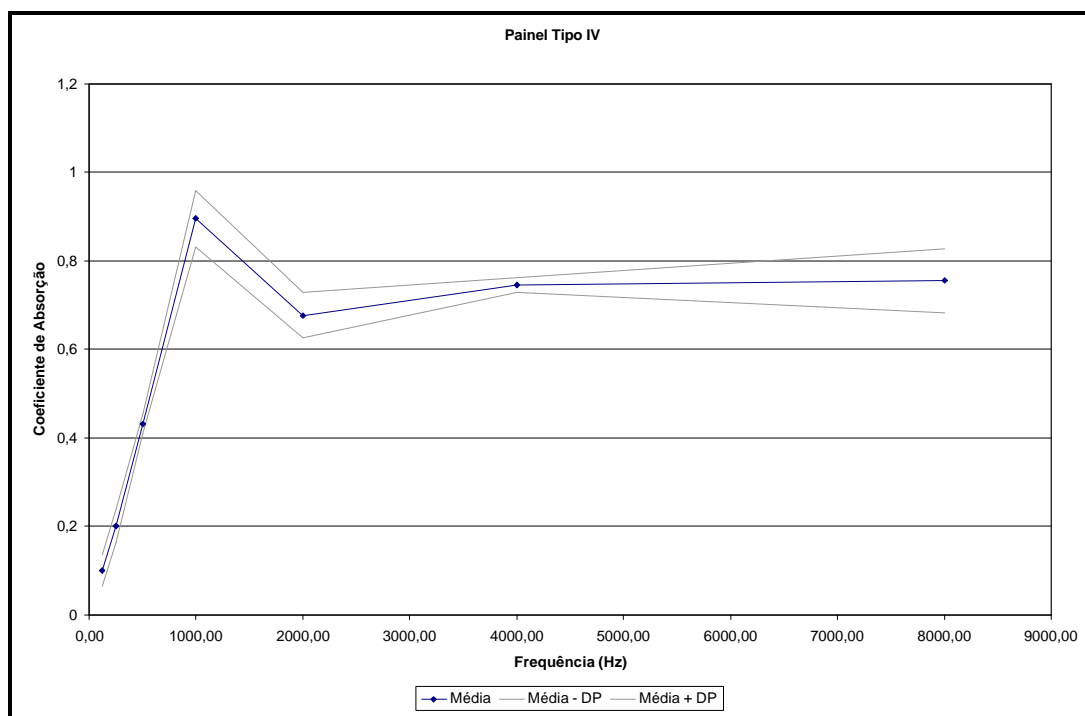


Figura 5.68 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo IV.

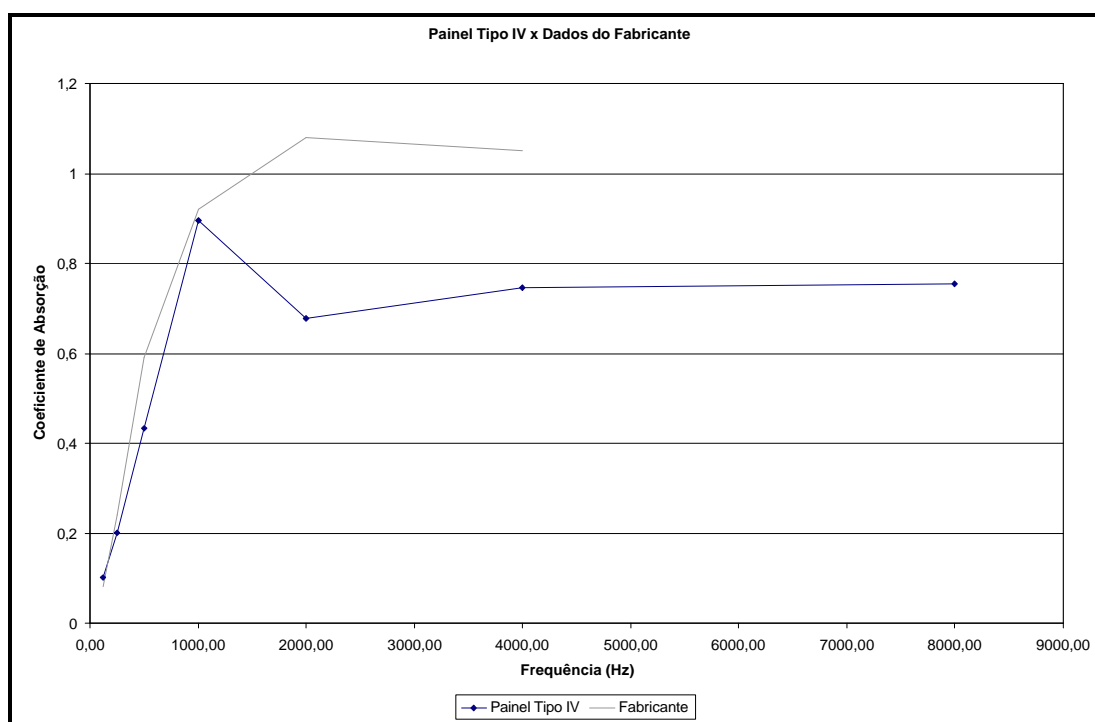


Figura 5.69 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo IV x Dados do Fabricante.

Na Fig. 5.70, apresentam-se os valores do coeficiente de absorção médio por oitava com um desvio padrão acima e abaixo, obtidos na mini-câmara reverberante e na Fig. 5.71, tem-se a comparação dos resultados medidos com os dados fornecidos pelos fabricantes para os painéis do Tipo V.

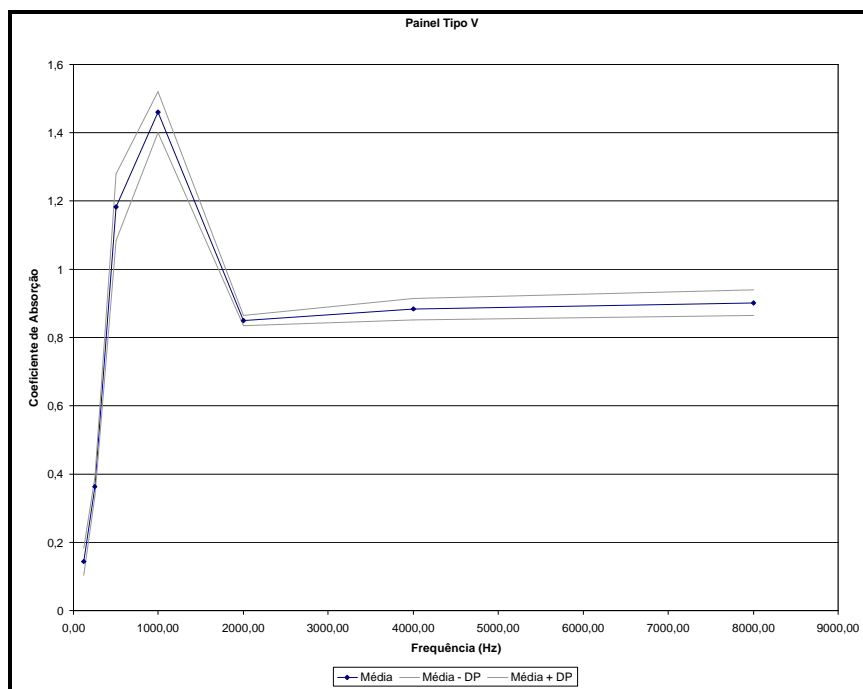


Figura 5.70 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o Painel Tipo V.

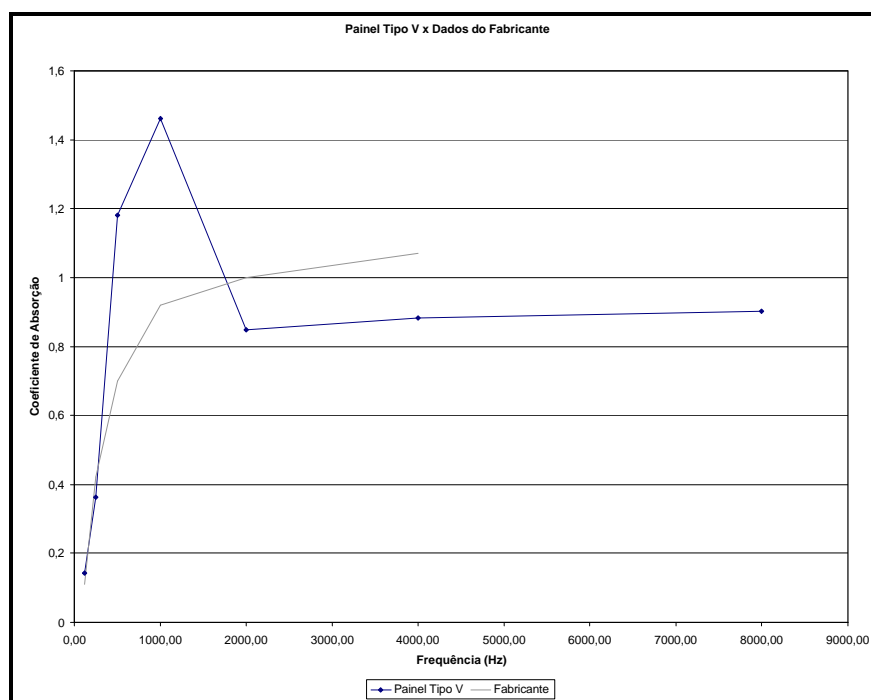


Figura 5.71 – Coeficiente de absorção médio por oitava da mini-câmara para o painel Tipo V x Dados do Fabricante.

### 5.3.2 – Considerações e Comparações dos Resultados

Novamente observa-se durante a realização dos experimentos, assim como no ensaio dos tubos de impedância, a variação entre as espessuras das amostras de fibra de coco. Na Tab. 5.3 apresentam-se os valores das espessuras reais das amostras medidas e sua espessura nominal especificada pelo o fabricante.

**Tabela 5.3 – Espessuras dos painéis analisados na mini-câmara.**

<b>Tipo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Espessura Nominal (m)</b>	<b>Espessura Real (m)</b>
<b>I</b>	PFC 07	0,05	0,045
	PFC 08	0,05	0,051
	PFC 17	0,05	0,039
	PFC 09	0,10	0,082
	PFC 10	0,10	0,080
	PFC 18	0,10	0,075
<b>II</b>	PFC 04	0,05	0,040
	PFC 14	0,05	0,041
	PFC 15	0,05	0,039
	PFC 05	0,10	0,078
	PFC 06	0,10	0,080
	PFC 16	0,10	0,078
<b>III</b>	PFC 01	0,05	0,043
	PFC 02	0,05	0,045
	PFC 11	0,05	0,052
	PFC 03	0,10	0,090
	PFC 12	0,10	0,092
	PFC 13	0,10	0,090

Novamente as variações podem ser explicadas, observando-se os próprios processos de produção e corte das amostras que acabam provocando uma variação das espessuras das amostras em relação a suas espessuras nominais.



Destacam-se também os baixos valores do coeficiente de absorção da mini-câmara vazia (sem amostras) que não chegaram a 0,05 (ou seja, 5%), principalmente em relação às amostras analisadas e que os desvios padrão calculados, como observado nas figuras acima para todas as amostras, são pequenos, comprovando que os valores médios obtidos retratam o comportamento da população de amostras analisadas.

Como já era esperado (GUEDES, 2007) a mini-câmara reverberante não conseguiu reproduzir os resultados fornecidos pelos fabricantes determinados em câmaras reverberantes de tamanho real, fato este de pequena importância frente ao objetivo do trabalho que busca a comparação qualitativa dos painéis acústicos estudados. Para o caso do painel Tipo V, esta diferença é bem maior nas frequências mais baixas, devido às dimensões das “cunhas” da superfície dos painéis estarem “fora de escala” em relação à mini-câmara.

Na Fig. 5.72 tem-se a comparação entre os coeficientes de todos os painéis analisados e nas Figuras 5.73, 5.74 e 5.75, apresenta-se a influência da variação da espessura dos painéis dos Tipos I, II e III, respectivamente, no comportamento do coeficiente de absorção.

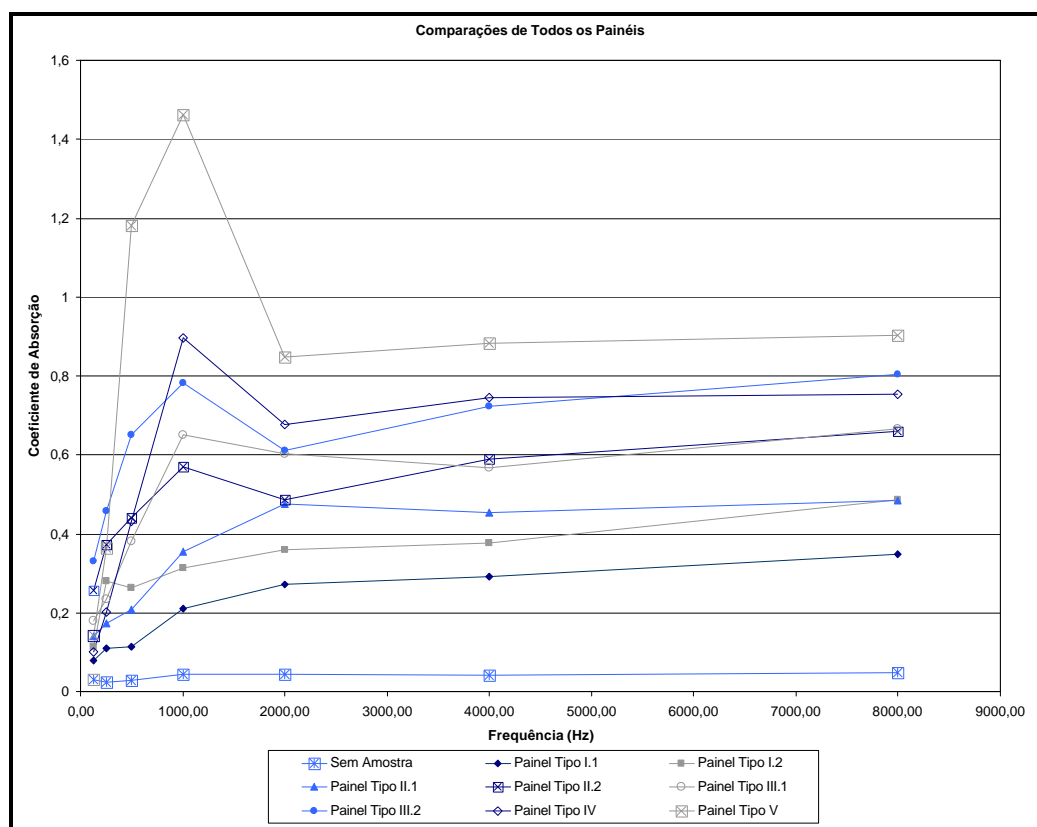


Figura 5.72 – Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para todos os painéis analisados.

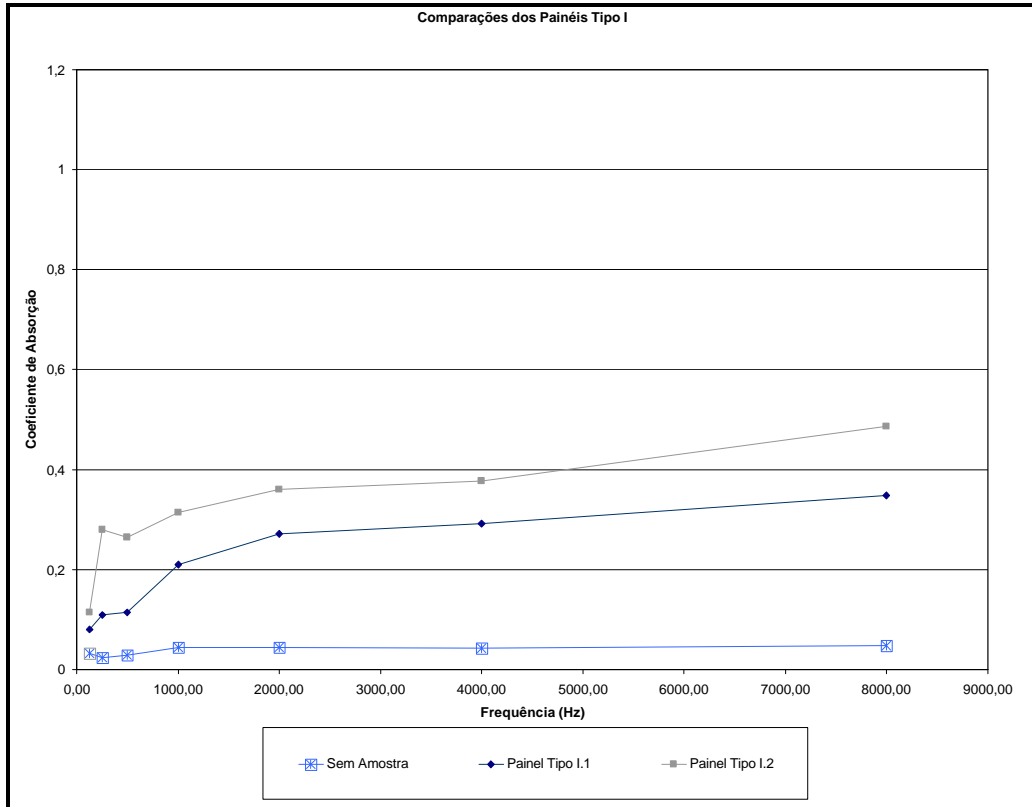


Figura 5.73 – Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo I.

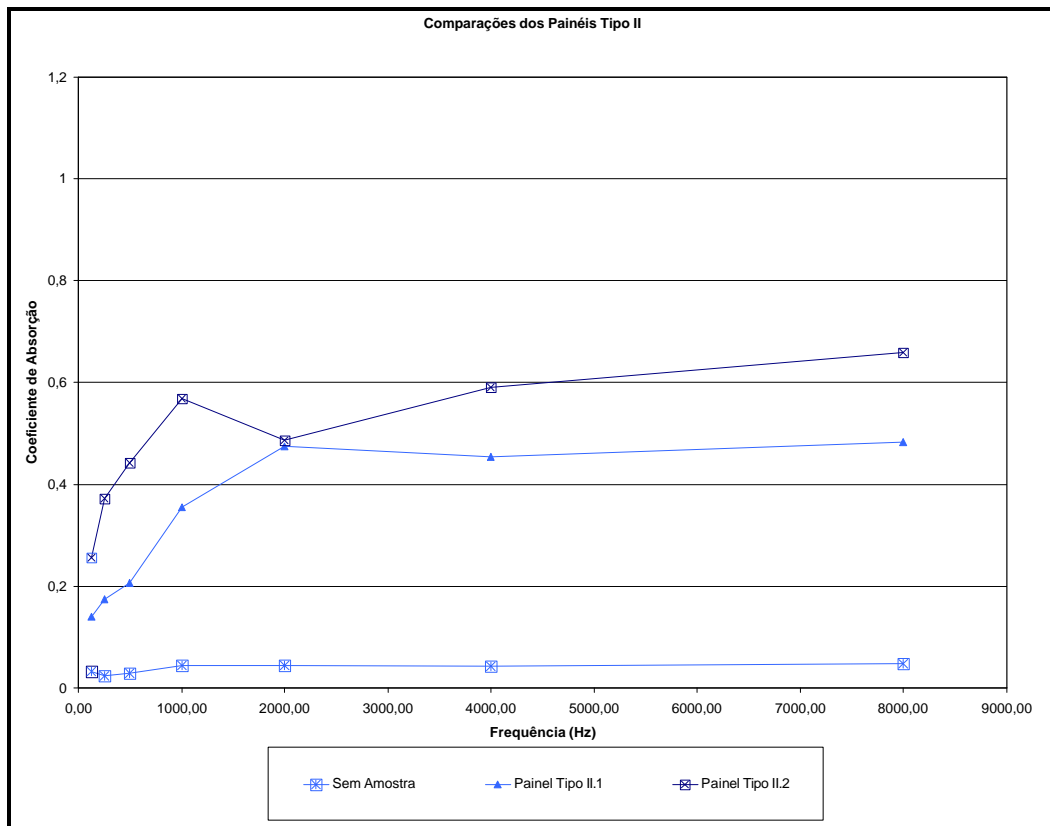
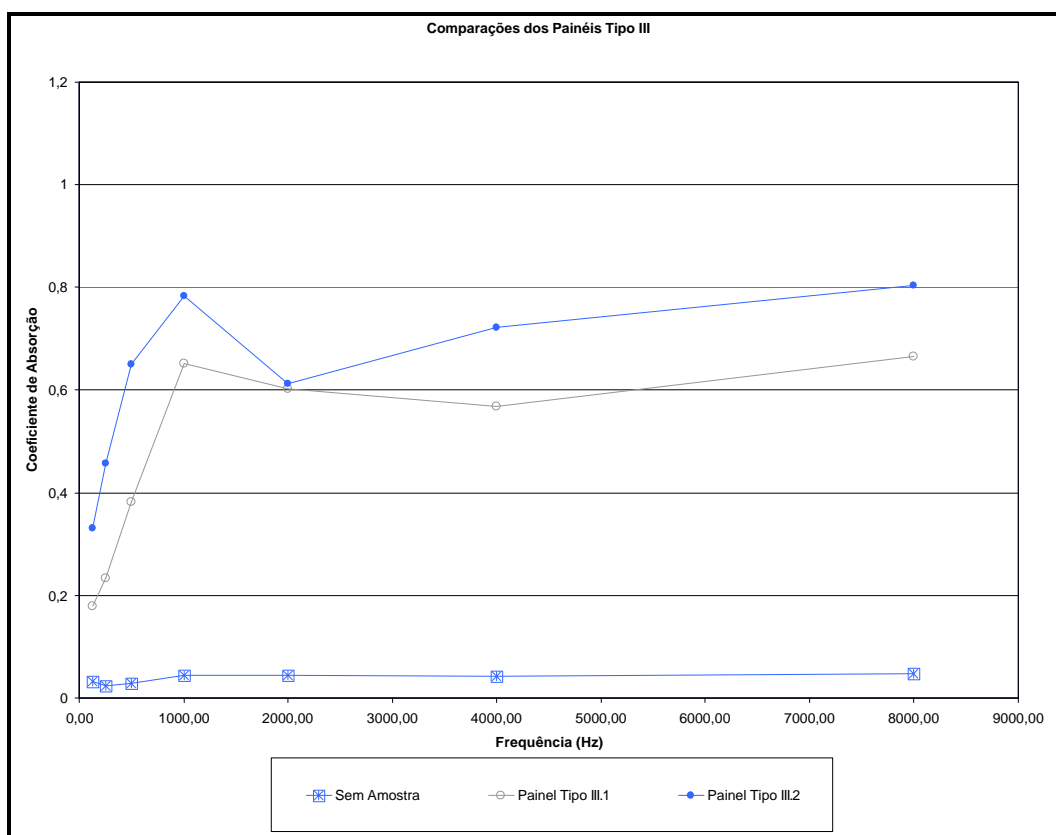


Figura 5.74 – Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo II.



**Figura 5.75 – Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava da mini-câmara para os painéis Tipo III.**

Como no caso dos tubos de impedância, escolheu-se o painel Tipo III.2, que apresentou os melhores resultados de coeficiente de absorção, para ser comparado com o painel Tipo IV (Ver Fig. 5.76). Verifica-se também que, de forma geral, os dois tipos apresentam um comportamento similar, porém, em baixas frequências e nas frequências acima de 5500 Hz, o comportamento do painel Tipo III.2 é novamente superior.

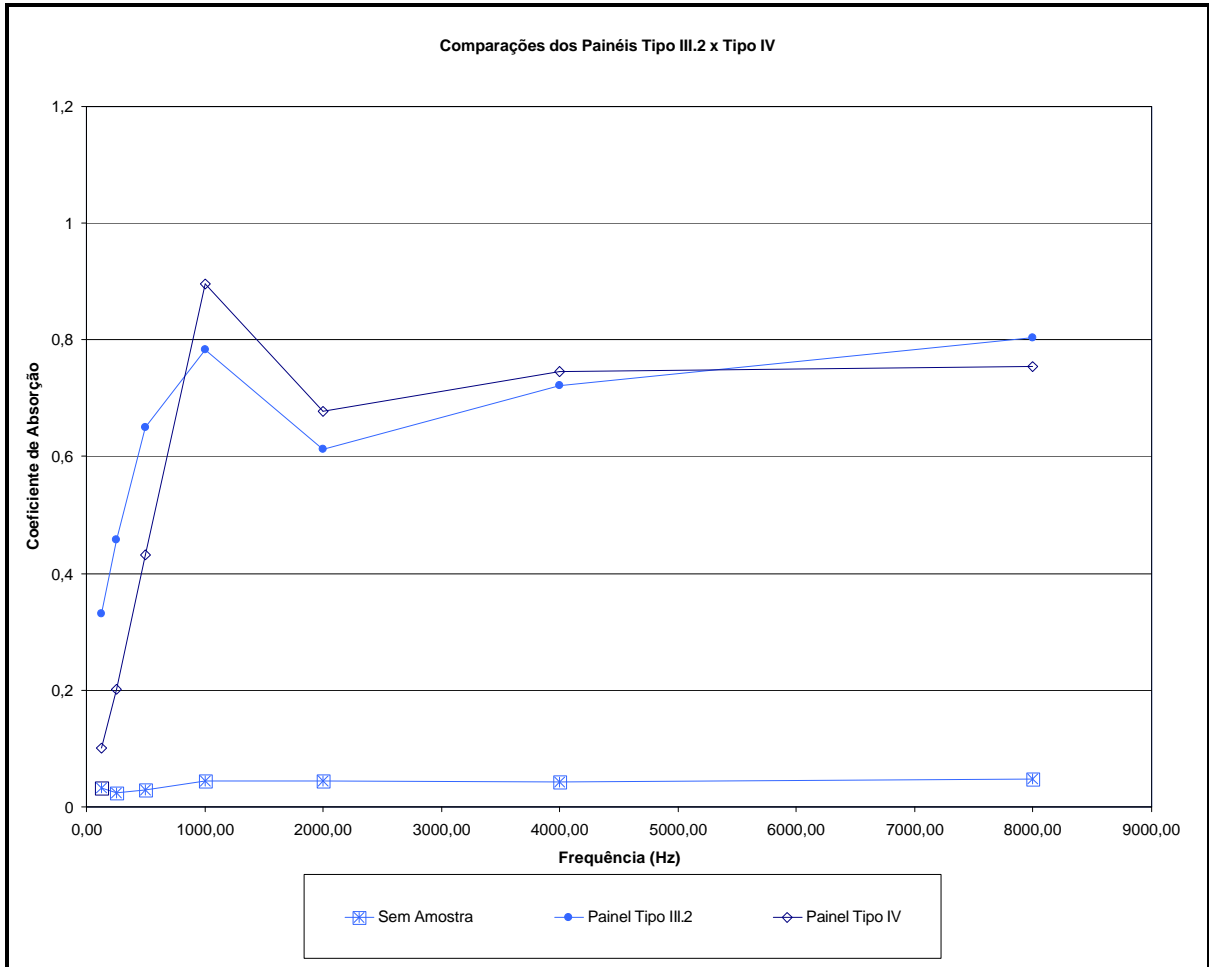


Figura 5.76 – Comparação dos coeficientes de absorção médios por oitava na mini-câmara dos painéis Tipo III.2 e Tipo IV.

## **6 – ANÁLISE NUMÉRICA DO PAINEL ACÚSTICO**

### **6.1 – INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, vem aumentando a utilização de métodos numéricos para a simulação de problemas da acústica, levando-se então a um crescimento da literatura publicada e da quantidade de programas computacionais nesta área. A simulação numérica, como ferramenta de projeto, já se tornou parte da rotina de desenvolvimento de produtos, principalmente pela fácil aplicabilidade e entendimento do comportamento acústico destes materiais em função de suas principais características físicas, químicas, mecânicas e geométricas, além do baixo custo de utilização quando comparada aos ensaios experimentais.

Os modelos baseados no método dos elementos finitos têm um importante papel na predição do comportamento vibro-acústico de estruturas e de materiais, entre outras aplicações. Assim, neste capítulo, a simulação numérica foi utilizada para a análise e predição do comportamento de materiais com características porosas, no caso o Painel Tipo III.2 e o Tipo IV, sendo que primeiramente descreve-se brevemente o software utilizado para as simulações e suas limitações, analisando-se em seguida os resultados obtidos em comparação com os resultados experimentais anteriormente comentados.

### **6.2 – SIMULAÇÃO NUMÉRICA**

Para a realização das simulações numéricas utilizou-se o software SYSNOISE, desenvolvido pela empresa LMS, o qual tem um aplicativo específico para a simulação do comportamento vibro-acústico de materiais poroelásticos e sistemas multicamadas no domínio do tempo e da frequência, denominado VIOLINS. O VIOLINS é baseado no método de elementos finitos e não apresenta restrições quanto ao número de camadas de materiais utilizadas nos modelos e nem em relação à complexidade da geometria.

O VIOLINS, porém, apresenta limitações no seu pré-processador, ou seja, no seu gerador de malhas, provocando-se então o desenvolvimento e a implementação deste trabalho no software ANSYS, com muitos recursos e

possibilidades de construção da malha de forma mapeada e de acordo com as necessidades do trabalho. O VIOLINS possui uma interface que permite a comunicação entre os dois softwares e, por conseguinte, a importação desta “malha” de forma adequada e rápida.

No software ANSYS, utilizou-se um elemento hexaédrico tipo “*Brick*” com 8 (oito) nós para a construção da malha de forma estruturada e para que se tenha a certeza de que cada um dos elementos modelados pertençam a somente uma camada do material. Definidas as características geométricas do modelo, realiza-se a exportação do modelo discretizado para o software SYSNOISE, onde no aplicativo VIOLINS definem-se as propriedades desejadas e necessárias.

O VIOLINS permite a definição de cinco diferentes tipos de materiais para os elementos, com propriedades estruturais, acústico-estruturais, ou apenas acústicas bem definidas. Neste caso, utilizou-se um material poroelástico (*Poroelastic*) definido pelas suas propriedades estruturais como densidade, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e pelas suas propriedades acústicas tais como porosidade, resistividade ao fluxo, tortuosidade, fator de Biot, etc.

O VIOLINS quando utiliza este tipo de elemento com características poroelásticas, assume a teoria de propagação de ondas e o procedimento matemático descrito nas teorias de Biot (BIOT, 1956) para obtenção da impedância acústica do material e, conseqüentemente, seu coeficiente de absorção.

BIOT (1956), quando desenvolveu as equações de campo para um meio poroso, considerava um esqueleto de material elástico saturado com um fluido no interior de seus poros, pois segundo ele, os materiais porosos podem ser vistos como materiais que contêm apenas estas duas fases distintas, descrevendo a interação entre estas duas fases. Para isso, em sua teoria destacam-se algumas hipóteses que devem ser assumidas para o modelo, como por exemplo:

- O comprimento de onda ( $\lambda$ ) é muito maior que o diâmetro médio dos poros;
- Os deslocamentos são pequenos (elasticidade linear);
- A fase fluida é contínua (poros fechados são considerados parte do esqueleto);
- O esqueleto é elástico (efeitos viscosos ligados à porção de fluido nos poros fechados não são considerados);

- Não há efeito de acoplamento termomecânico envolvido (o fluido comporta-se adiabaticamente).

O modelo é descrito por duas equações de equilíbrio e duas equações constitutivas e definido por três variáveis iniciais: a pressão no fluido ( $p$ ), o deslocamento da carcaça do material ( $u$ ) e o deslocamento do fluido ( $U$ ), com o objetivo de se determinar o deslocamento relativo entre as fases sólida e fluida. A formulação utilizando-se deslocamentos difere dos modelos de elementos finitos convencionais para acústica, onde é mais conveniente uma formulação baseada na velocidade de partícula do fluido. Segundo MCCULLOCH (1995), o uso de deslocamentos leva a uma formulação mais homogênea para o problema de acoplamento.

A solução é obtida numericamente no modelo de elementos finitos, através do princípio dos trabalhos virtuais e aplicando-se uma aproximação de *Galerkin* convencional, sendo então possível chegar-se às equações de equilíbrio em suas formas matriciais, implementadas no software VIOLINS.

Utilizou-se nas simulações modelos discretizados na forma de prisma e, visando uma análise numérica mais precisa, com a secção transversal quadrada, inicialmente com um “diâmetro equivalente” igual ao diâmetro das amostras experimentais que eram cilíndricas. Entretanto, estudos posteriores demonstraram que os mesmos resultados numéricos podem ser obtidos utilizando-se modelos discretizados com secções transversais menores, o que provocou a diminuição do tempo e da capacidade de processamento necessários para a obtenção das soluções numéricas, já que no estudo leva-se em consideração a propagação de onda plana no interior do material.

Algumas condições de contorno devem ser definidas para o modelo ao longo das laterais e das fronteiras das malhas:

- Os modelos foram considerados unidimensionais e os deslocamentos de todos os nós foram restringidos nas direções  $x$  e  $y$ ;
- Condições de impermeabilidade foram definidas ao longo das laterais das malhas. Isto significa que não pôde existir fluxo de fluido para fora do material poroelástico;
- A superfície inferior das malhas foi privada de seus movimentos em todas as direções, com o intuito de simular a extremidade de um tubo de impedância, que deve ser rígida;

- A excitação consiste em uma força unitária harmônica e uniformemente distribuída pelos nós do topo das malhas. Desta forma, procurou-se fazer com que os sistemas se comportassem como localmente reativos.

A partir dos deslocamentos, pressões e velocidades nodais e da impedância acústica normal de superfície ( $Z$ ), obtidos no VIOLINS para os modelos em questão, pode-se determinar a absorção acústica normal ( $a$ ), através de (RSCHEWKIN, 1963):

$$a = \frac{4 * Re}{(Re+1)^2 + Im^2} , \quad (6.1)$$

sendo:  $Re$  e  $Im$  as partes real e imaginária, respectivamente, da impedância acústica normal de superfície dividida pelo produto entre a densidade e a velocidade de propagação do som na parte fluida do material ( $\frac{Z}{rc}$ ).

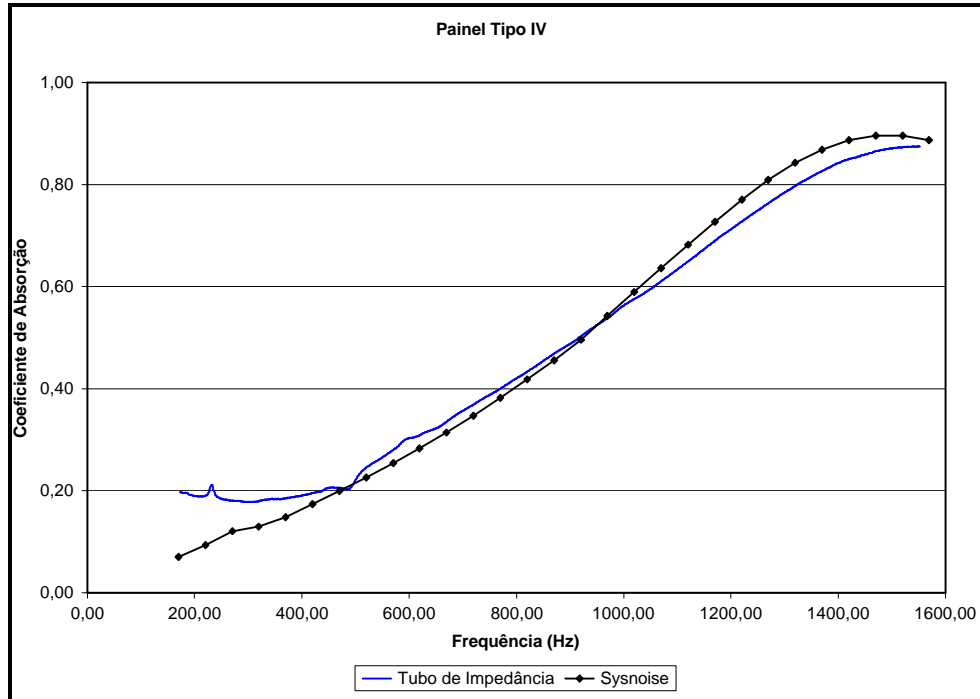
Nos Apêndices AP.E e AP.F apresentam-se as rotinas computacionais utilizadas no software SYSNOISE e VIOLINS para a simulação dos materiais e determinação das características acima mencionadas.

### 6.3 – RESULTADOS NUMÉRICOS

Como forma de validar a metodologia de análise realizou-se a modelagem de uma amostra de espuma de aproximadamente 30 mm (painel Tipo IV) nas baixas e médias frequências compreendidas entre 170 e 1570 Hz. Os valores utilizados para as principais propriedades físicas deste painel Tipo IV foram: espessura 0,03 m; densidade da parte sólida 600 kg/m<sup>3</sup>; densidade da parte fluida 1,22 kg/m<sup>3</sup>; módulo de elasticidade 35.382,73 N/m<sup>2</sup>; fator de perda 0,098; coeficiente de Poisson 0,3; porosidade 0,95; resistividade ao fluxo 6.473,21 Rayls/m e tortuosidade 5,53.

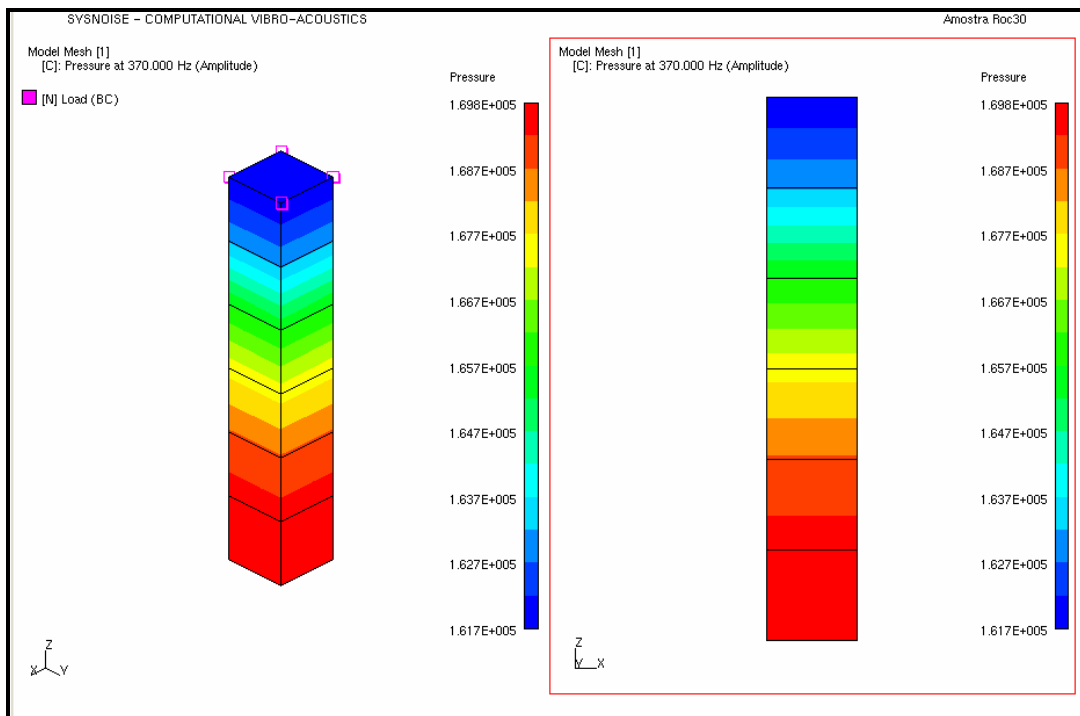
A Fig. 6.1 apresenta a comparação entre os coeficientes de absorção obtidos experimentalmente e pela simulação numérica, onde observa-se uma boa concordância entre os resultados.





**Figura 6.1 – Comparação dos coeficientes de absorção experimental e numérico para o painel Tipo IV.**

As Figuras 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 mostram a distribuição da pressão sonora, obtida pela simulação numérica, no interior do painel Tipo IV, para as frequências de 370 Hz, 770 Hz, 1170 Hz e 1570 Hz, respectivamente.



**Figura 6.2 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 370 Hz para o painel Tipo IV.**

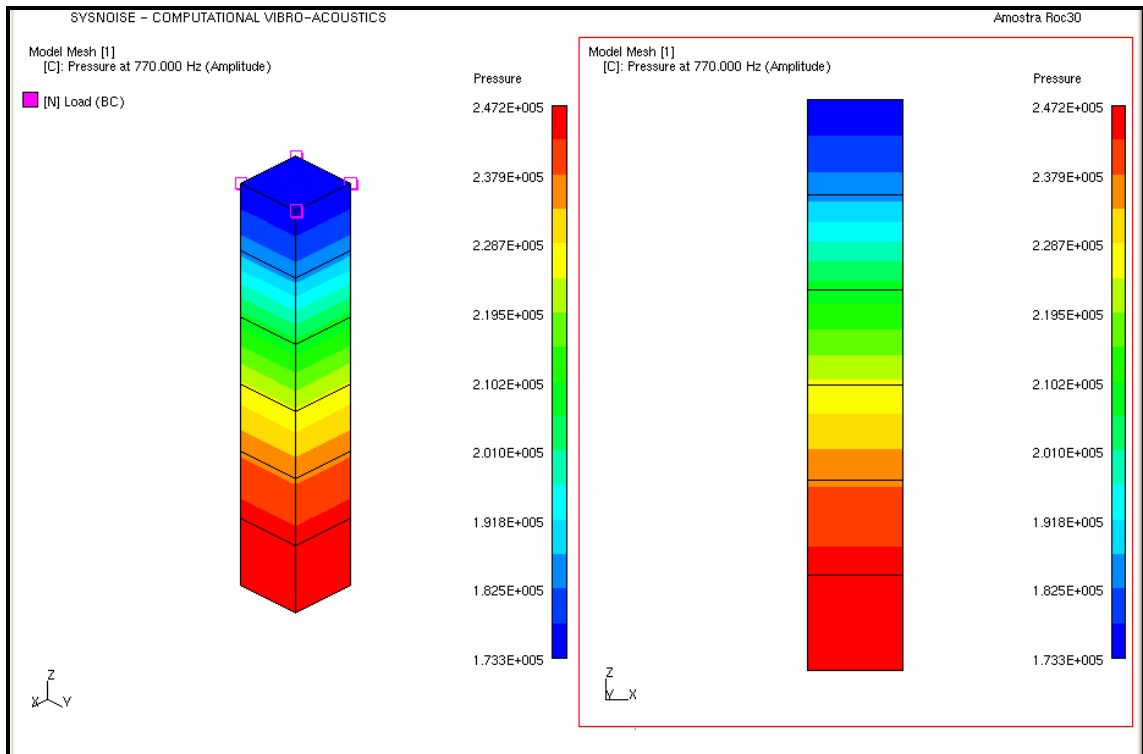


Figura 6.3 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 770 Hz para o painel Tipo IV.

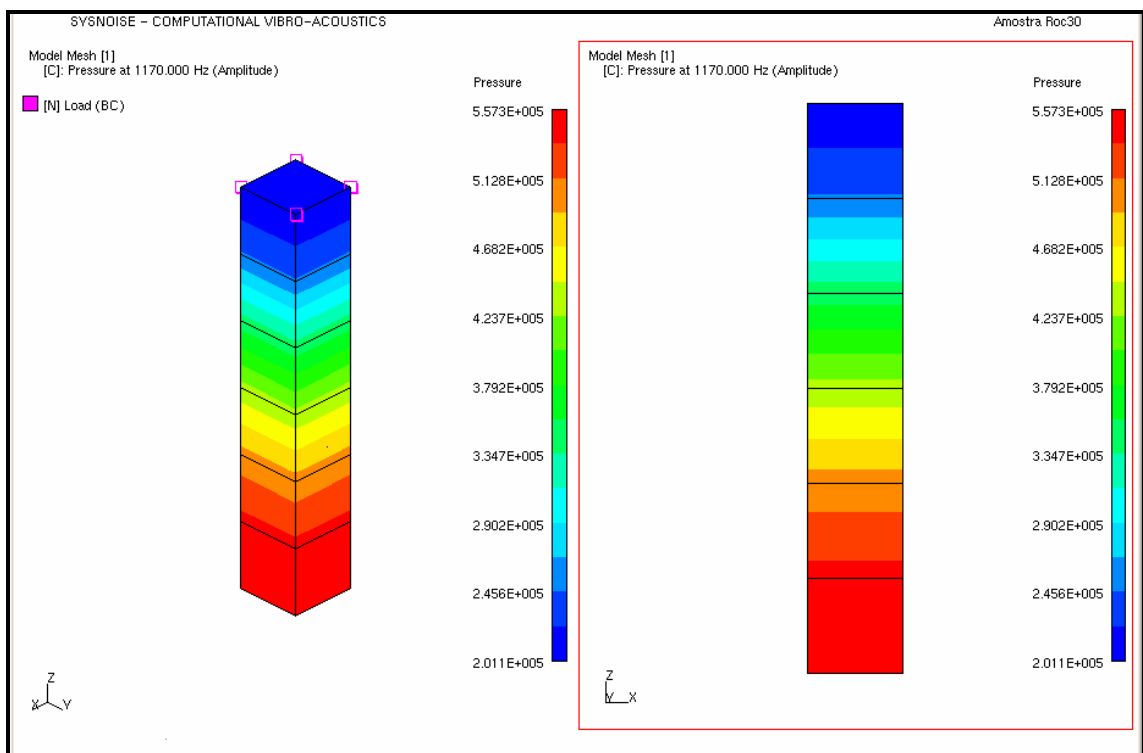
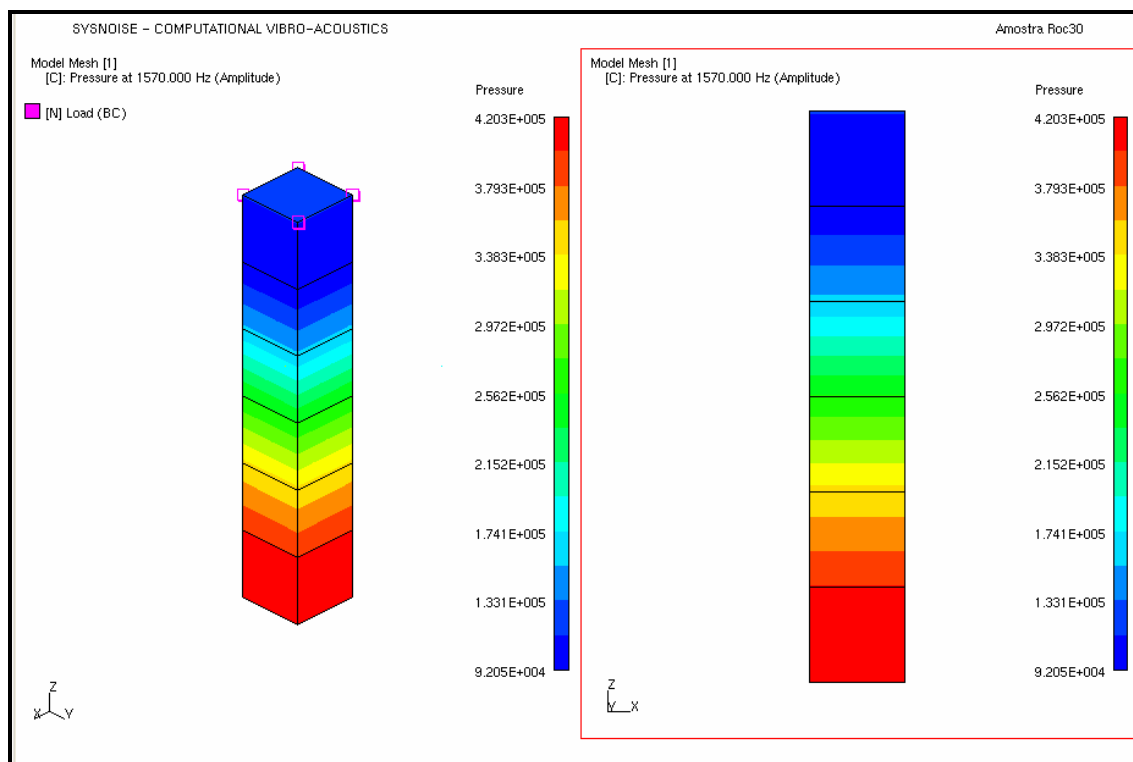


Figura 6.4 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1170 Hz para o painel Tipo IV.

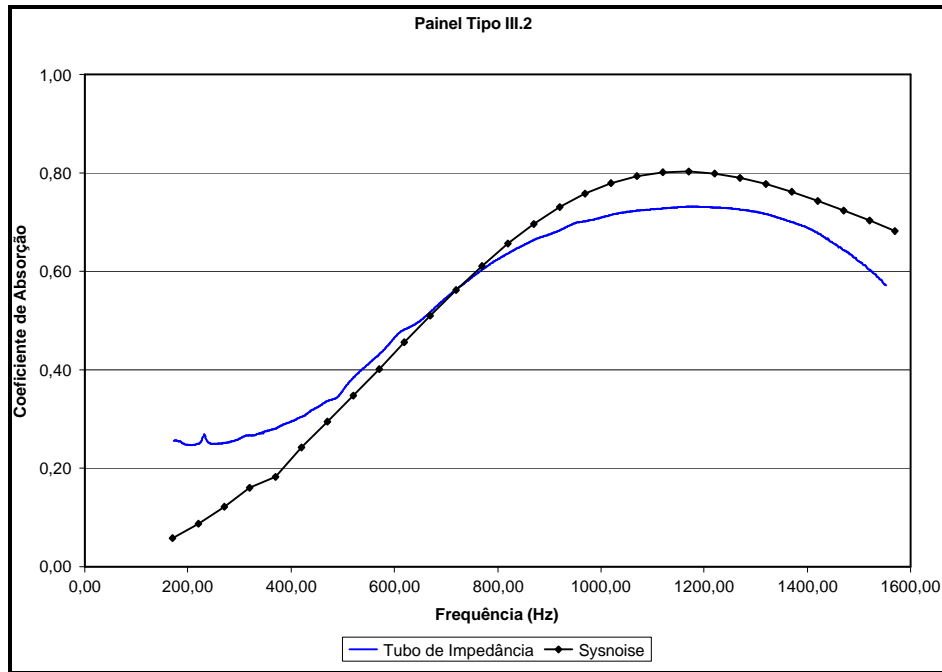


**Figura 6.5 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1570 Hz para o painel Tipo IV.**

Pode-se perceber que, à medida que a frequência aumenta, a atenuação da pressão sonora também aumenta. É importante lembrar que a superfície superior da malha comporta-se como uma estrutura rígida já que todos os deslocamentos neste plano estão restritos, fazendo com que a onda sonora incidente na superfície superior seja refletida na superfície inferior e então, novamente atenuada pelo material poroelástico.

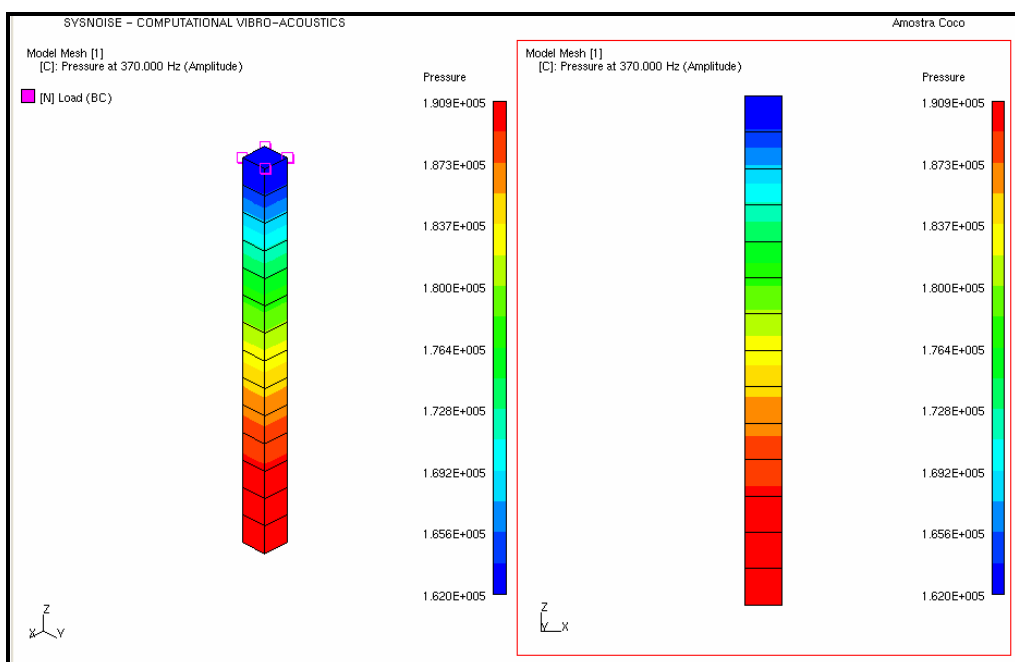
Com a metodologia validada, realizou-se a modelagem de uma amostra composta de fibras de coco, no caso, a metodologia que nas etapas experimentais, anteriormente discutidas, apresentou melhor eficiência quanto aos resultados do coeficiente de absorção: o painel Tipo III.2. Os valores utilizados para as principais propriedades físicas deste painel foram: espessura 0,07 m, pois foi o valor médio obtido da espessura real das amostras utilizadas no tubo grande de impedância; densidade da parte sólida  $1200 \text{ kg/m}^3$ ; densidade da parte fluida  $1,22 \text{ kg/m}^3$ ; módulo de elasticidade  $1.283.226,06 \text{ N/m}^2$ ; fator de perda 0,071; coeficiente de Poisson 0,3; porosidade 0,86; resistividade ao fluxo  $3.439,54 \text{ Rayls/m}$  e tortuosidade 1,5.

A Fig. 6.6 apresenta a comparação entre os coeficientes de absorção obtidos experimentalmente e pela simulação numérica, onde também observa-se uma boa concordância entre os resultados.



**Figura 6.6 – Comparação dos coeficientes de absorção experimental e numérico para o painel Tipo III.2.**

As Figuras 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10 mostram a distribuição da pressão sonora, obtida pela simulação numérica, no interior do painel Tipo III.2, para as frequências de 370 Hz, 770 Hz, 1170 Hz e 1570 Hz, respectivamente.



**Figura 6.7 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 370 Hz para o painel Tipo III.2.**

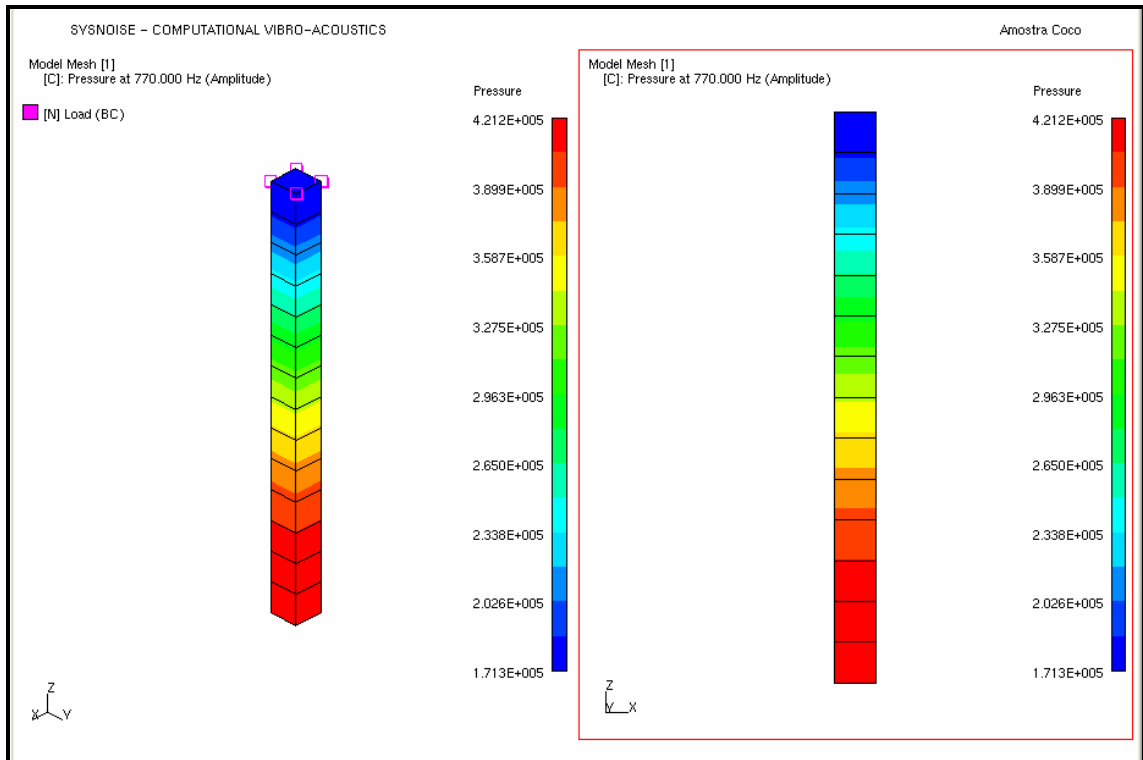


Figura 6.8 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 770 Hz para o painel Tipo III.2.

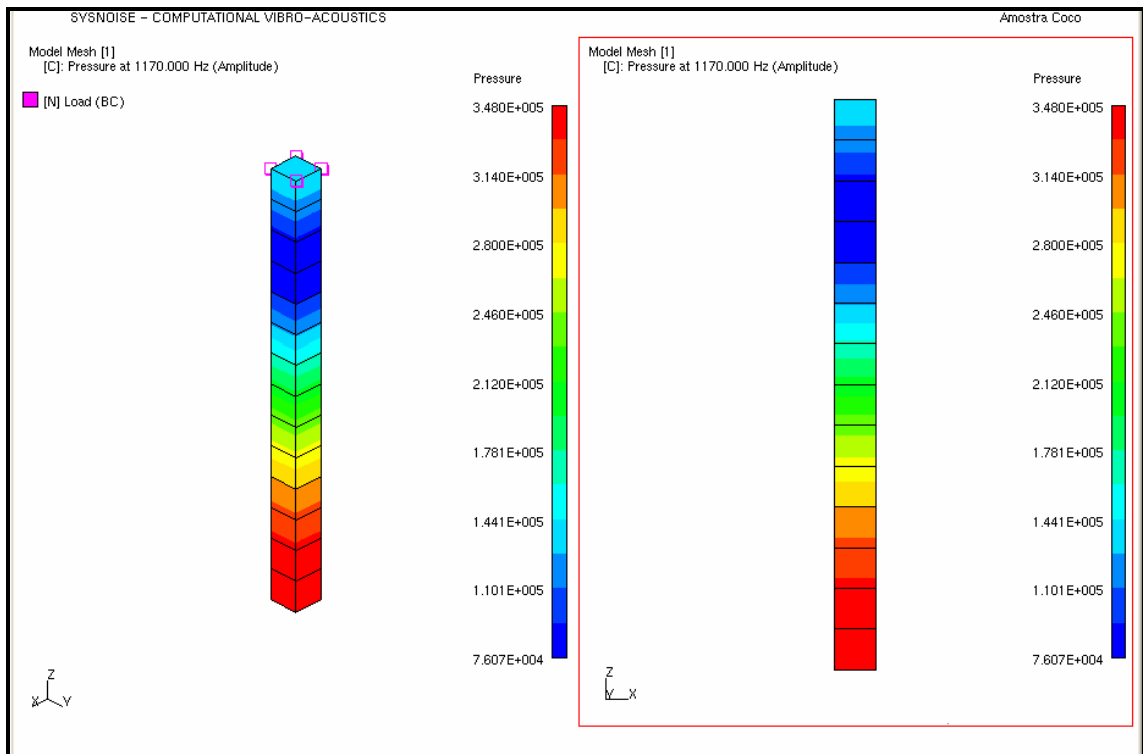
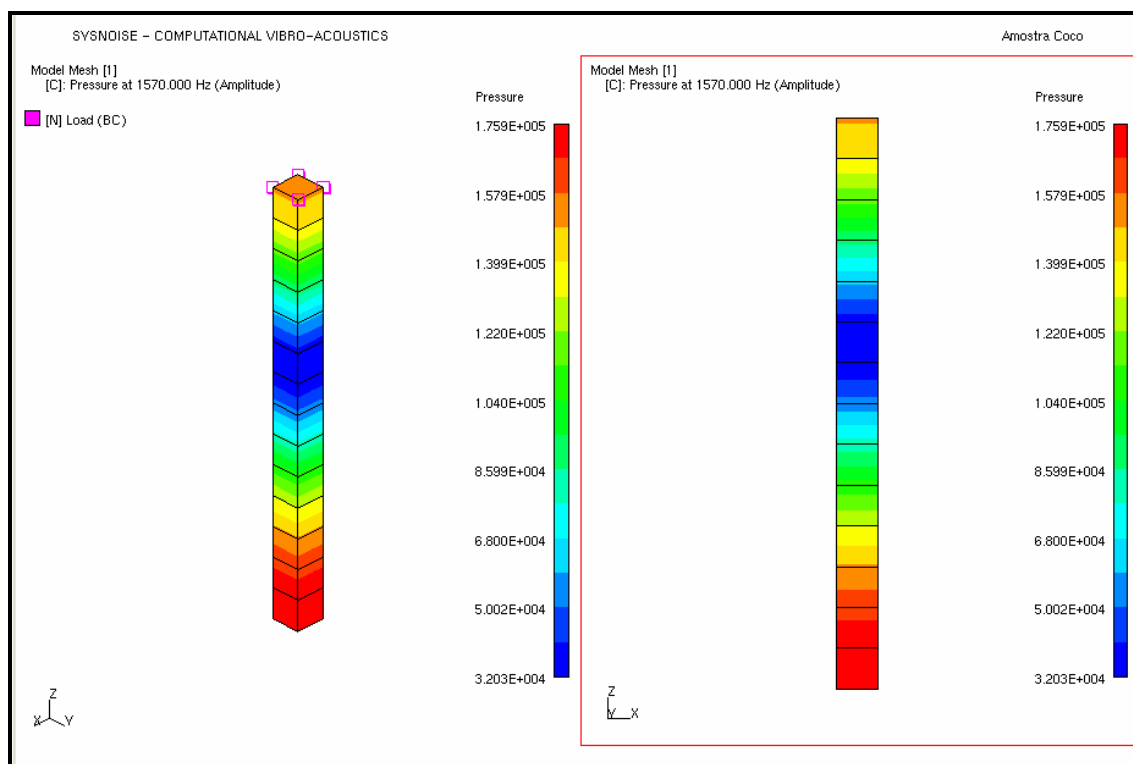


Figura 6.9 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1170 Hz para o painel Tipo III.2.



**Figura 6.10 – Distribuição de pressão sonora (Pa) em 1570 Hz para o painel Tipo III.2.**

Pode-se perceber nas Figuras 6.7 e 6.8 que à medida que a frequência aumenta, a atenuação da pressão sonora também aumenta. Já nas Figuras 6.9 e 6.10, com o aumento da frequência ocorrerá redução desta atenuação, fato este que também pode ser percebido na Fig. 6.6 com a redução do valor do coeficiente de absorção.

A justificativa para a diferença dos resultados numéricos e experimentais, entre as curvas do coeficiente de absorção de ambos os painéis, nas frequências abaixo de 400 Hz, é que as curvas experimentais do coeficiente de absorção obtidas pelo método da função de transferência não costumam apresentar uma excelente concordância para valores muito baixos de absorção. Destaca-se também que a Teoria de Biot considera a dissipação de energia somente nos poros abertos do material, sendo os poros fechados considerados como parte do esqueleto. No entanto, mesmo em poros fechados, existe uma conversão de energia acústica em calor, devido a uma diferença de fase entre as compressões e o fluxo de calor nestes poros (BALVEDI, 1998). Obviamente, no caso dos painéis estudados, não se pode garantir que os materiais sejam compostos exclusivamente de poros abertos, portanto, esta fração de energia dissipada não é considerada no

modelo numérico. Outro ponto importante é que a formulação de Biot assume que o fluido comporta-se adiabaticamente, entretanto, em materiais porosos e em frequências suficientemente baixas, o processo torna-se isotérmico, contribuindo para o aumento do coeficiente de absorção (BALVEDI, 1998).

Para o painel Tipo III.2 de fibra de coco percebem-se desvios um pouco maiores entre os resultados numéricos e experimentais do que no Painel Tipo IV de espuma, provavelmente pelo fato da Teoria de Biot ter sido desenvolvida para materiais com características essencialmente porosas e os painéis fibra de coco possuem características predominantemente de materiais porosos e fibrosos. No entanto, os resultados são considerados satisfatórios em função do objetivo ter sido alcançado, determinar o comportamento do coeficiente de absorção de um painel em desenvolvimento sem a necessidade de construção de amostras reais, com custos menores.

Assim, na Fig. 6.11, observam-se os resultados numéricos do coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2 e IV, onde assim como no ensaio do tubo de impedância, discutido no Capítulo 5, obteve-se uma melhor eficiência do Painel III.2 para as frequências abaixo de, aproximadamente, 1200 Hz.

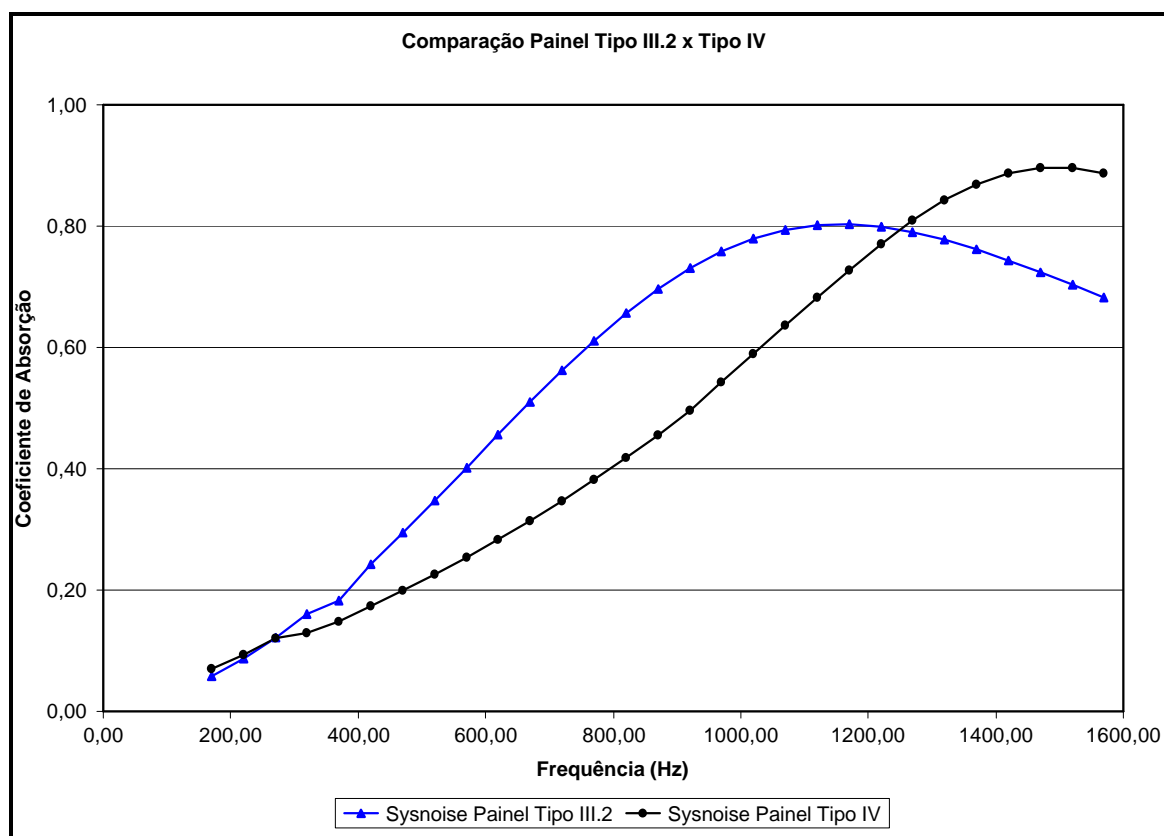


Figura 6.11 – Comparação dos coeficientes de absorção numéricos para os painéis Tipo III.2 e Tipo IV.

Outra razão possível e que pode ter levado a variações entre os resultados numéricos e experimentais, são os valores das propriedades medidas (ver Capítulo 4), por tratarem-se de materiais que não têm comportamento totalmente homogêneo, afirmativa esta importantíssima principalmente no caso dos painéis de fibra de coco. Então, nas Figuras 6.12, 6.13, 6.14 e 6.15, apresenta-se a influência de algumas destas propriedades medidas (tais como espessura, porosidade, resistividade ao fluxo e tortuosidade), para melhor entendimento do comportamento acústico do painel Tipo III.2.

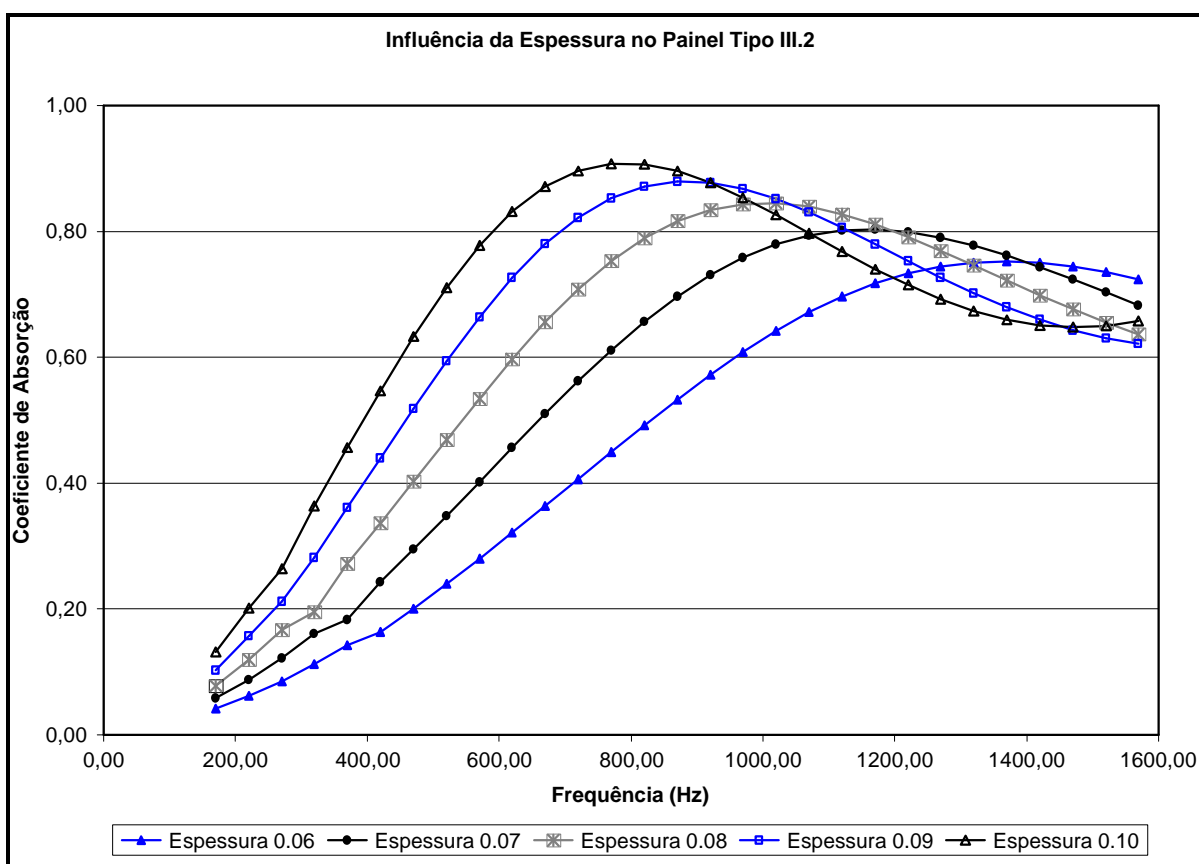
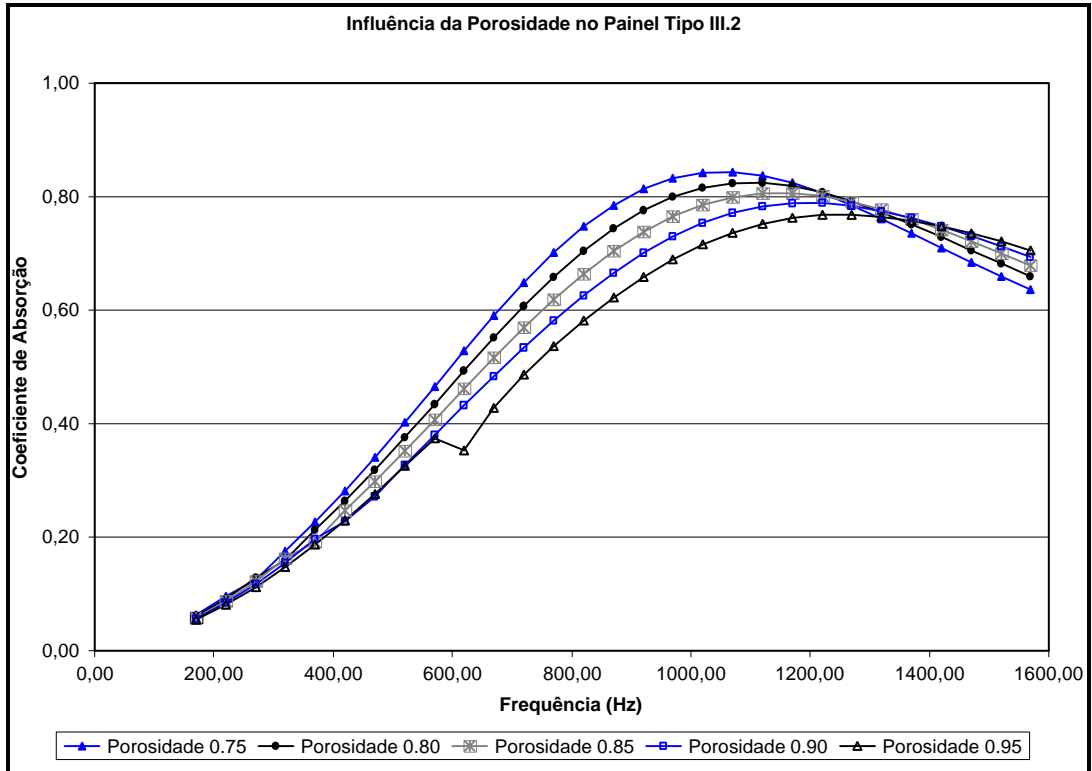
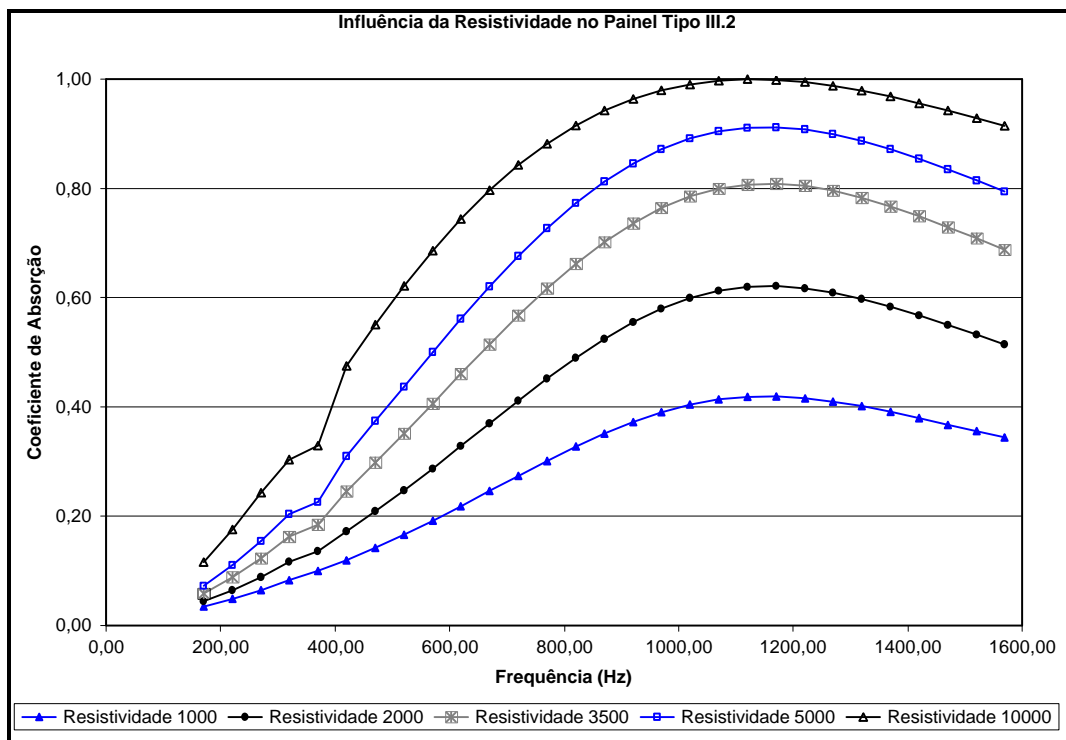


Figura 6.12 – Influência da variação da espessura no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2.

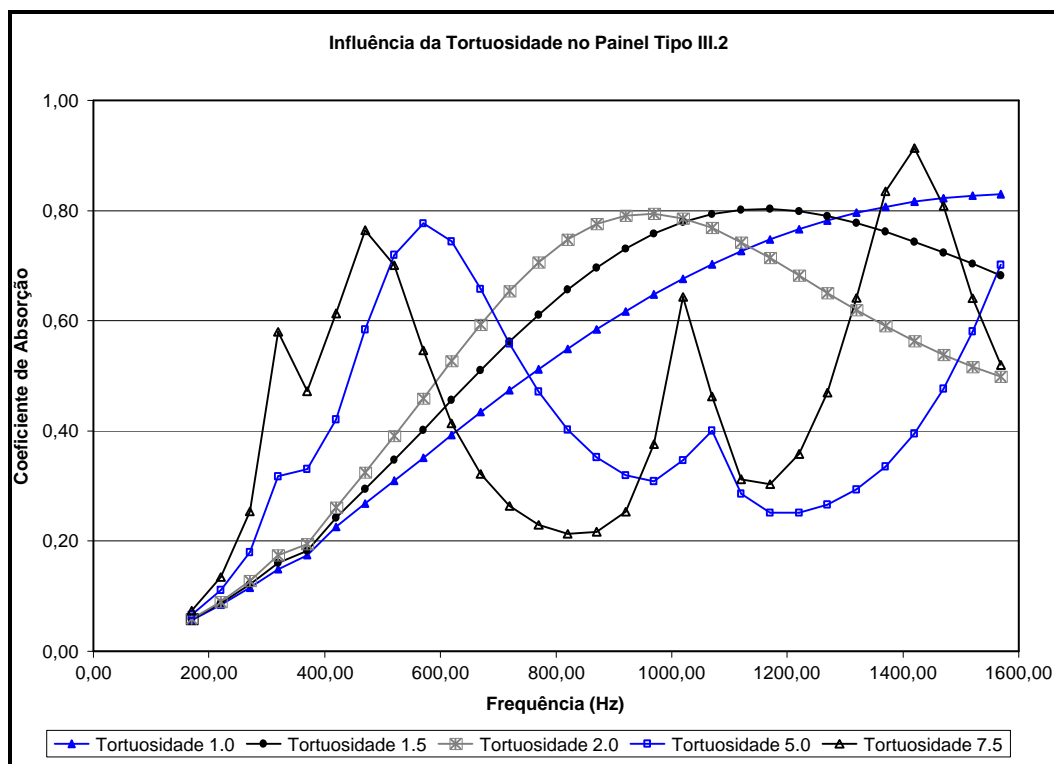




**Figura 6.13 – Influência da variação da porosidade no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2.**



**Figura 6.14 – Influência da variação da resistividade ao fluxo no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2.**



**Figura 6.15 – Influência da variação da tortuosidade no coeficiente de absorção dos painéis Tipo III.2.**

A variação da espessura de 0,06 m a 0,10 m provocou consideráveis variações na curva do coeficiente de absorção, como já era esperado, tornando fundamental um melhor controle deste parâmetro durante o processo de fabricação, visto que em um mesmo lote, ao qual teve-se acesso para a confecção das amostras, era possível encontrar diferenças de espessuras nesta mesma ordem de grandeza. Com o aumento da espessura, verifica-se um substancial aumento do coeficiente de absorção, principalmente, nas baixas frequências em torno de 700 Hz, onde verifica-se a mudança deste coeficiente de 0,4 para 0,9, aproximadamente.

A porosidade do painel exerceu uma influência negativa nos valores do coeficiente de absorção na faixa de frequência analisada, já que o mesmo foi reduzido à medida que se aumentou a porosidade de 0,75 para 0,95.

A resistividade ao fluxo está diretamente ligada à dissipação da energia acústica devido à força de fricção entre o fluido e o esqueleto do material, força esta relacionada à viscosidade do fluido, logo um valor muito baixo diminui o acoplamento entre as fases sólida e fluida do material, diminuindo também a dissipação pelos meios viscosos. Com o aumento da resistividade, o fluxo de fluido pelo material é

dificultado e efeitos inerciais começam a surgir, o que no painel analisado provocou um aumento significativo nos valores do coeficiente de absorção.

O efeito inercial é melhor compreendido, analisando-se a influência da variação da tortuosidade no coeficiente de absorção. A tortuosidade expressa a maior dificuldade em se acelerar uma massa de fluido no interior de um material poroso do que em campo livre. Assim, quanto maior a tortuosidade, maior será a força que o fluido exercerá nas paredes do material e, conseqüentemente, maiores serão as forças inerciais resultantes.

A tortuosidade representa um incremento na densidade do fluido, que passa a ser definida por uma densidade efetiva. Este aumento na densidade do fluido faz com que a velocidade do som seja menor. Como a ressonância acústica neste tipo de material é inversamente proporcional à velocidade do som no fluido, o aumento da tortuosidade leva a uma diminuição da freqüência de ressonância acústica (BALVEDI, 1998), como verificado e bem visível para os valores de tortuosidade simulados entre 1 e 2. Para os valores da tortuosidade de 5 e 7,5, verificou-se o aparecimento de diversas ressonâncias acústicas que não podem ser bem visualizadas devido à insuficiente discretização na escala da freqüência utilizada para estes casos.

## 7 – ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE UM RECINTO FECHADO

### 7.1 – INTRODUÇÃO

As análises computacionais em ambientes internos e externos, a cada dia, têm sido aperfeiçoadas, fazendo com que a modelagem de espaços tridimensionais se torne cada vez mais precisa. Atualmente, os computadores tornaram-se capazes de calcular os mais diversos efeitos referentes à propagação de ondas acústicas através de métodos numéricos que transportam a realidade física para a linguagem computacional. A natureza da interação entre um campo sonoro num ambiente fechado e as principais superfícies deste ambiente desempenha um papel fundamental no estudo da acústica de salas. Na acústica clássica, a qual é baseada na consideração de campos sonoros difusos, tal interação é descrita pelo conceito do coeficiente de absorção sonora, representando fisicamente os processos de troca de energia sonora nas superfícies da sala, diretamente relacionados com o tempo de reverberação da sala.

A reverberação é um prolongamento do som direto, a partir de múltiplas reflexões, devendo acontecer de forma controlada, a fim de se tornar benéfica para a qualidade acústica da sala. Na reverberação, os sons não são percebidos separadamente, mas se a mesma for demasiadamente longa, pode dificultar compreensão do som original (LONG, 2006).

Além do decaimento da pressão sonora na sala, é importante que exista uma distribuição uniforme desta pressão ( $NPS(A)$ ) ao longo de todo o recinto, de tal forma que uma parte da audiência não tenha a impressão de que o orador está falando muito alto enquanto outra parte não consegue ouvi-lo adequadamente.

Um outro parâmetro, também importante, em salas destinadas à fala, como é o caso da sala que será analisada neste capítulo, é a inteligibilidade da palavra, pois o ouvinte precisa, sem grandes esforços, entender a mensagem que chega até ele. Os componentes arquitetônicos destas salas, tais como dimensões, forma, orientação das superfícies e materiais, bem como o nível de ruído de fundo, influenciam a inteligibilidade. Como princípio básico (DE MARCO, 1982), procura-se

garantir uma boa inteligibilidade, pois de outro modo seria impossível a comunicação verbal.

Neste capítulo, será analisada numericamente a influência da colocação dos painéis de fibra de coco Tipo III.2 no interior de uma sala destinada à fala (Auditório do LABEM – UFPA) nos parâmetros acústicos acima citados. Inicialmente, realiza-se a validação do modelo numérico, desenvolvido no software ODEON, da sala em questão através de dados experimentais obtidos de ensaios acústicos realizados no Auditório do LABEM – UFPA. Por fim, comparam-se os resultados obtidos com o painel Tipo III.2 (fibras de coco) e com o painel Tipo IV (espuma comercial) de forma que possam ser atestadas a viabilidade técnica e a eficiência no controle acústico do painel de Fibra de coco ora desenvolvido.

O auditório em questão (Ver Fig. 7.1) tem capacidade de comportar 40 (quarenta) pessoas sentadas na platéia mais 4 lugares sentados para expositores sobre o palco. Quanto a sua utilização, o mesmo é utilizado para palestras, seminários, cursos, reuniões administrativas, aulas e apresentações de vídeos, caracterizando o mesmo, como um auditório utilizado predominantemente para a fala. Cabe ressaltar, que para a realização destas atividades descritas acima, pode ser necessária a utilização de equipamentos eletroacústicos como “*datashow*”, computadores, televisores e em alguns casos extremos caixas acústicas amplificadoras, sendo este último muito pouco comum devido às pequenas dimensões do recinto.



**Figura 7.1 – Auditório do LABEM – UFPA.**

No que tange ao estilo, este auditório caracteriza-se por uma arquitetura originalmente regional sendo atualmente, devido às modificações, aproximada à arquitetura funcional. Na planta original, este recinto foi projetado para ser um laboratório de teste de motores de combustão, porém, atualmente está adaptado para ser um auditório. No momento destas adaptações, foram apenas especificadas alterações no piso, na distribuição das cadeiras, na iluminação, no sistema de climatização e no palco, não sendo em nenhum momento realizado um projeto para alterar as características acústicas deste ambiente, fato este responsável pelos baixos níveis de inteligibilidade e pelos elevados tempos de reverberação existentes no auditório que, posteriormente, são discutidos neste capítulo.

## 7.2 – SIMULAÇÃO NUMÉRICA

O ODEON é um software para modelagem de propagação acústica em ambientes internos, incluindo reflexão e difusão sonora, absorção das paredes e do ar, difusão e transmissão através de paredes. Sua metodologia é baseada nos métodos mais consagrados atualmente, a saber, o método da fonte imagem, o método de raios acústicos e o método híbrido, métodos estes utilizados, por exemplo, no software RAYNOISE, também amplamente difundido.

O método da fonte imagem especular usa a fonte imagem especular virtual para traçar os caminhos das reflexões sonoras da fonte sonora ao receptor. O som é propagado como um raio, o qual se comporta como se fosse uma onda plana. São então determinadas fontes imagem de primeira ordem e de ordens superiores (Figuras 7.2 e 7.3). A contribuição energética de cada fonte imagem é computada, levando em consideração a distância percorrida e as atenuações ocorridas em cada reflexão.

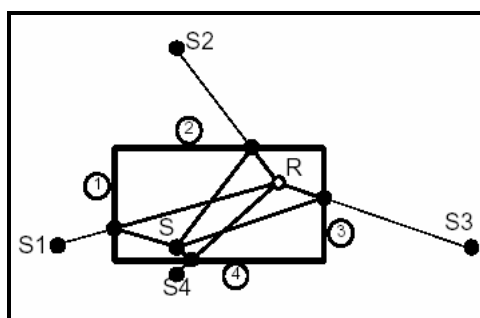
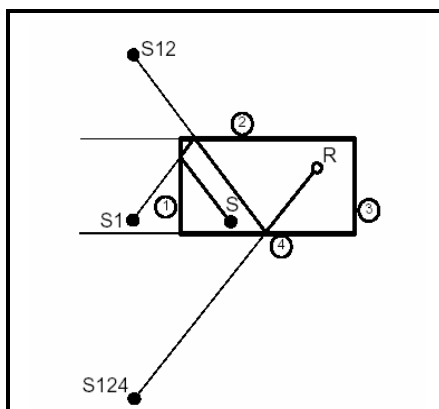


Figura 7.2 – Caminhos de reflexão de primeira ordem em salas retangulares.

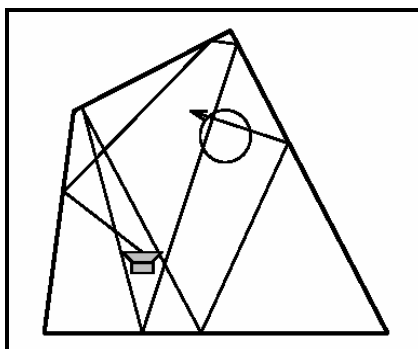
Fonte: RAYNOISE (1993)



**Figura 7.3 – Fonte imagem de terceira ordem e caminhos das reflexões correspondentes.**

**Fonte: RAYNOISE (1993)**

O método de acústica de raios assume que a energia emitida pela fonte sonora é distribuída igualmente entre um número discreto de raios sonoros. Cada raio tem uma energia inicial igual ao total da energia da fonte dividida por uma série de raios. Cada um viaja à velocidade do som e colide com as paredes, piso e teto, etc., onde é refletido de acordo com a lei de reflexão especular. O nível de energia de cada raio decresce com as reflexões por meio da absorção das superfícies e progressivamente com a absorção do ar. Quando a energia de um raio não for mais representativa a propagação é interrompida. São definidas as áreas ou volumes receptores para o cálculo da energia sonora nos diferentes pontos da sala. Observa-se cada raio que cruza o volume receptor (Ver Fig. 7.4). O número de raios cruzando o volume receptor e as contribuições de energia desses raios determinam o nível de pressão sonora. Perdas devido à divergência esférica são incluídas como resultado da crescente separação entre os raios enquanto eles se afastam da fonte com o passar do tempo (RAYNOISE, 1993).



**Figura 7.4 – Traçado de um raio acústico da fonte ao volume receptor.**

**Fonte: RAYNOISE (1993)**

Os Métodos Híbridos (Ver Fig. 7.5) combinam a natureza determinística, derivada do método da fonte imagem, com algumas características estatísticas do método de raios acústicos (SOUZA, 1997).

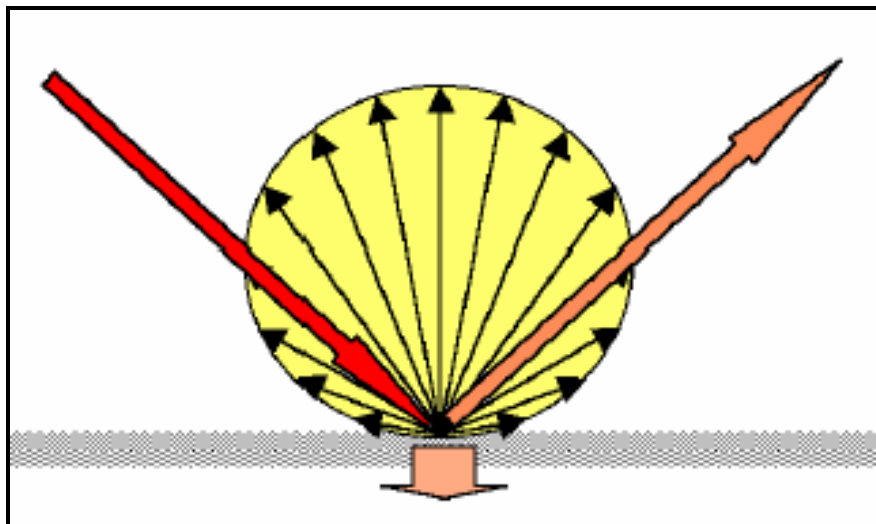


Figura 7.5 – Efeitos combinados de reflexão especular e difusa (espalhamento).

Fonte: TENENBAUM e CAMILO (2004)

Nesta metodologia, cada superfície é associada a um tipo de material com seu respectivo coeficiente de absorção sonora e/ou coeficientes de difusão, dependendo se a simulação será especular ou difusa. Os raios são propagados matematicamente e guardam propriedades que incluem a potência e localização da fonte sonora. Um número limitado de raios é espalhado, onde cada raio representa um cone ou raios em forma de pirâmides de energia, sendo irradiados a partir da fonte. Os raios propagados colidem com as superfícies diminuindo sua energia a cada colisão. O tempo de computação depende fortemente da quantidade de raios propagados. Um receptor pode ser modelado como um ponto ou esfera no espaço. Em um traçado de raios, uma colisão é registrada quando um receptor cai dentro do ângulo dos raios de uma pirâmide ou cone. Se isso não acontecer, o raio segue até se encontrar com uma superfície.

O ODEON não é o único programa que utiliza esta metodologia. No entanto, é um programa de computação avançado e desenvolvido para fazer simulações que possam prever satisfatoriamente o comportamento acústico de ambientes.



### 7.3 – VALIDAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Foi criado um modelo geométrico em CAD (Ver Fig. 7.6) e convertido para o formato “.dxf” que então pode ser importado para o software ODEON. Neste modelo foram realizadas simulações com e sem audiência possibilitando obter o tempo de reverberação e a distribuição do  $NPS(A)$  ou  $SPL(A)$  no auditório, de tal forma que estes resultados pudessem ser comparados com resultados experimentais medidos nas mesmas condições descritas e validassem o modelo numérico.

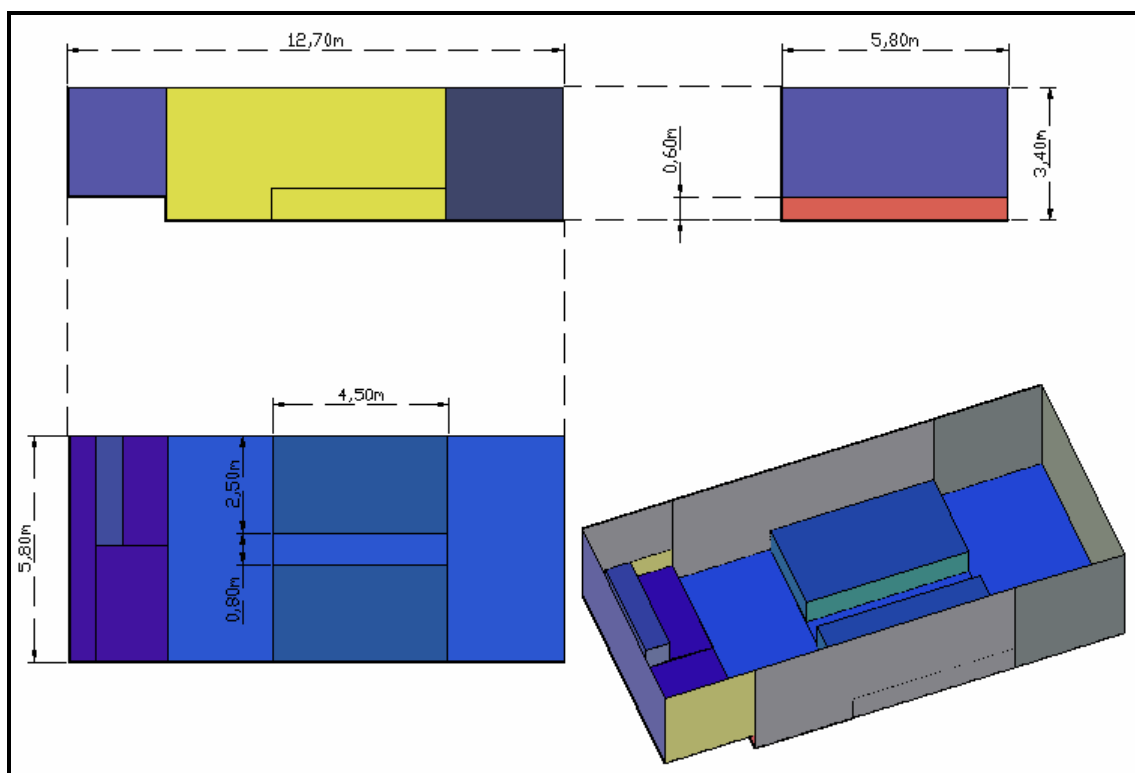


Figura 7.6 – Desenho CAD do auditório do LABEM – UFPA.

Para a melhor calibração do modelo, a análise computacional seguiu a mesma metodologia da análise experimental. Foi inserido no modelo uma fonte onidirecional (nas figuras o ponto  $P1$  em vermelho), nove receptores (nas figuras em azul) distribuídos de forma aleatória no interior do auditório (Figuras 7.7, 7.8, 7.9 e 7.10) e um “grid” a uma altura de 1,10 m do piso (altura média dos ouvidos de uma pessoa sentada), na região onde localiza-se a audiência (Ver Fig. 7.11).

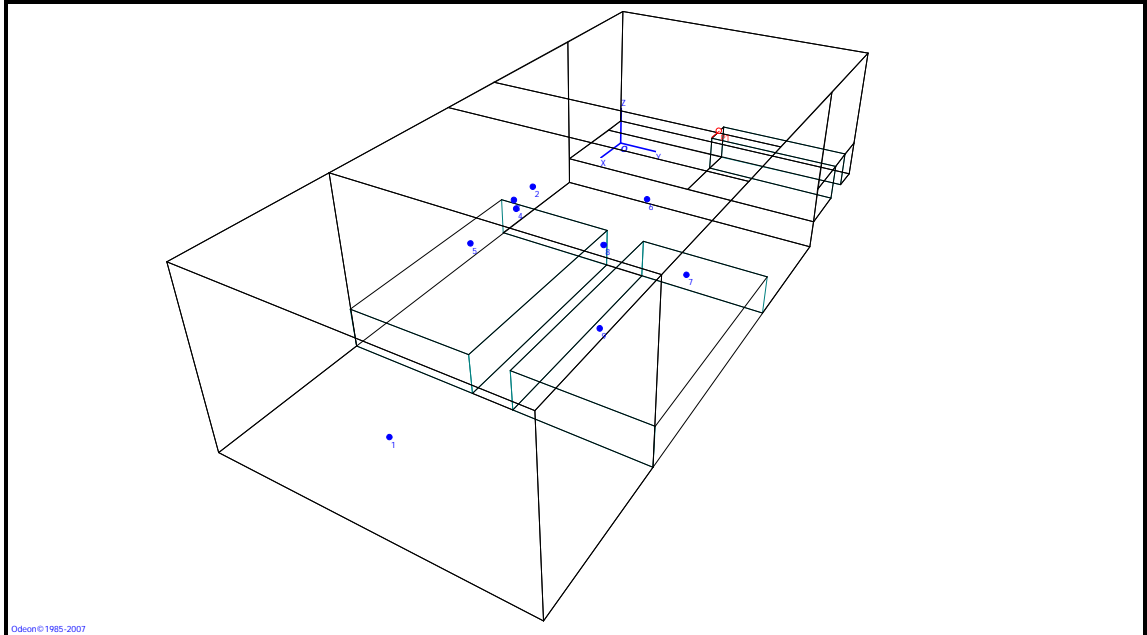


Figura 7.7 – Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista isométrica).

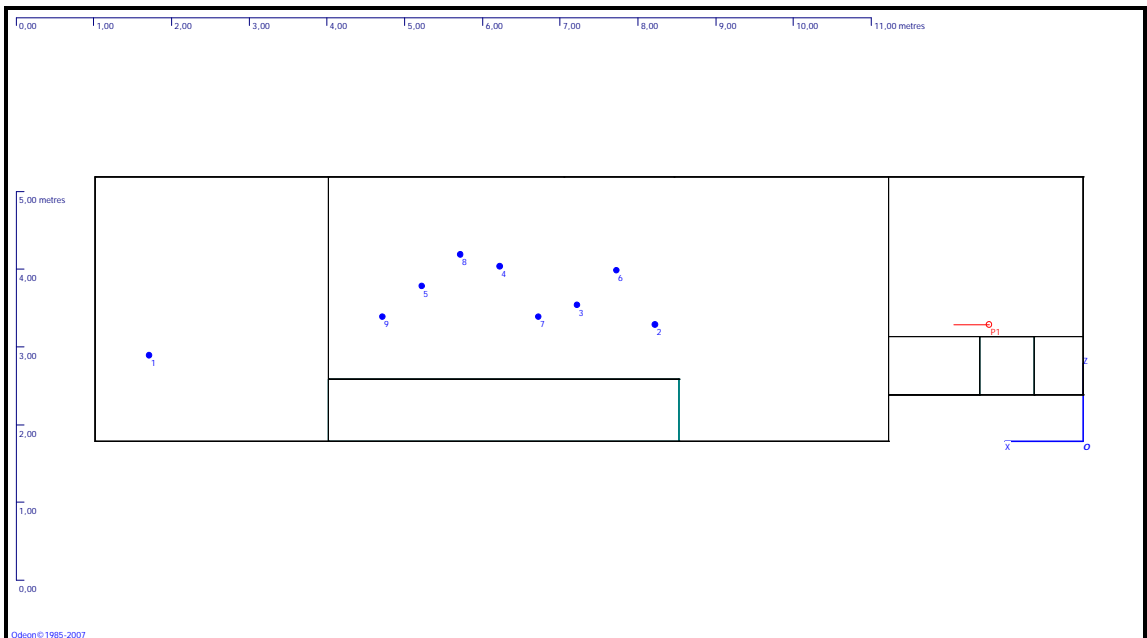


Figura 7.8 – Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista frontal).

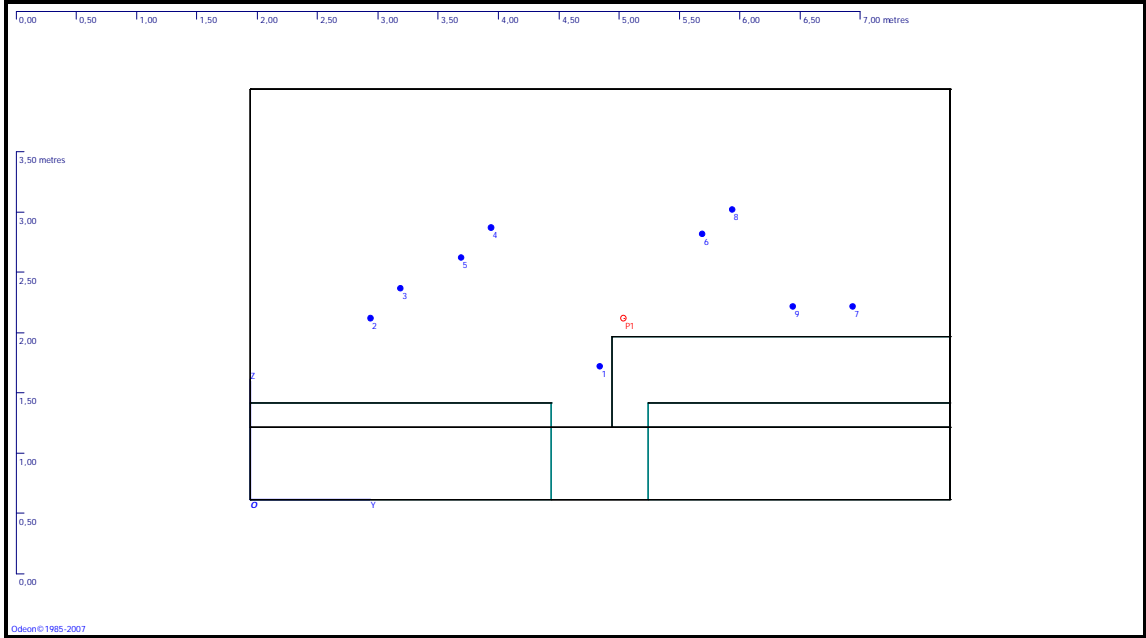


Figura 7.9 – Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista lateral).

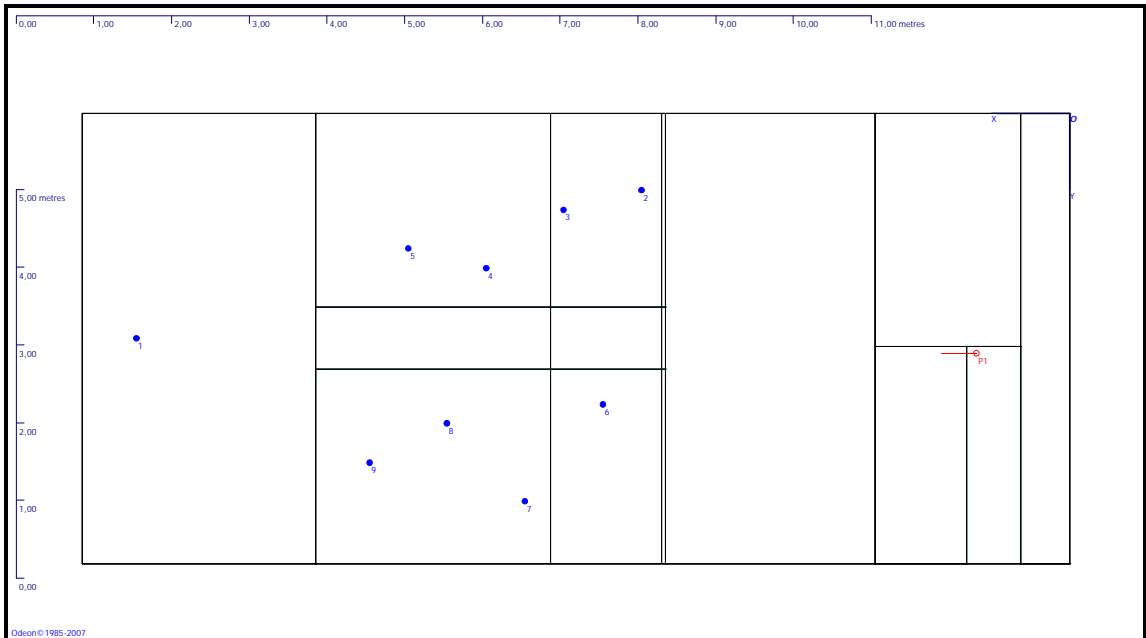


Figura 7.10 – Modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA (vista superior).

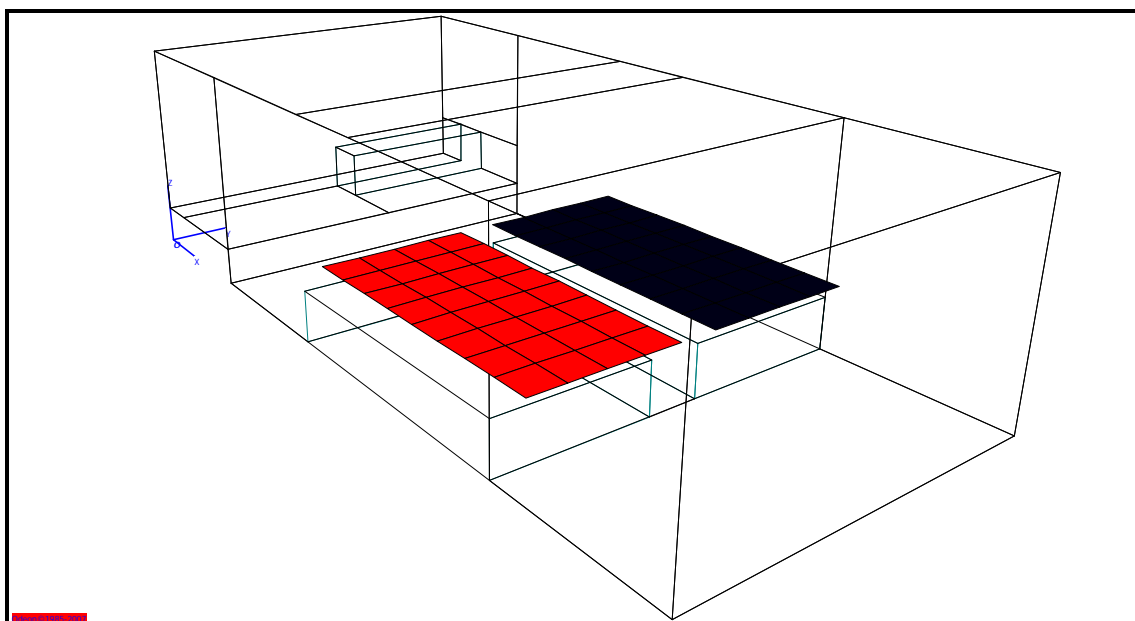


Figura 7.11 – “Grid” utilizado no modelo numérico do auditório do LABEM – UFPA.

Os parâmetros de entrada utilizados nas simulações numéricas precisam ser escolhidos com muita cautela para que não acabem afetando o resultado final. Por isso, foram realizadas várias simulações modificando, principalmente, o número de raios emitidos pela fonte, a ordem de reflexão e o tempo de resposta impulsiva, até que os resultados do tempo de reverberação, da distribuição do  $NPS(A)$  e da inteligibilidade se estabilizassem. Os parâmetros básicos de entrada estão mostrados nas Tabelas 7.1 e 7.2.

Tabela 7.1 – Informações do modelo numérico.

Parâmetro	Valor
Volume Estimado da Sala	222,3 m <sup>3</sup>
Número de Raios	50000
Máx. Ordem de Reflexões	2000
Método de Espalhamento	Lambert Oblíquo
Comprimento da Resposta Impulsiva	1600 ms
Resolução da Resposta Impulsiva	9,0 ms
Potência Total da Fonte Sonora	111 dB(A)

Tabela 7.2 – Coeficientes de absorção adotados no modelo numérico.

Nº	Descrição	Nº ODEON	Coeficiente de Absorção por Oitava		
			500	1000	2000
1	Piso	2018	0,015	0,02	0,02
2	Teto	102	0,01	0,02	0,02
3	Parede	302	0,02	0,02	0,02
4	Palco/Móveis	2020	0,77	0,20	0,11
5	Cadeiras Vazias	905	0,58	0,61	0,58
6	Audiência	2273	0,80	1,00	1,00
7	Painel de Fibra de Coco 130 kg/m <sup>3</sup> e 0,10 m (Tipo III.2)	2465	0,65	0,78	0,61
8	Painel de Espuma Roc 30 mm (Tipo IV)	2466	0,59	0,92	1,08

Os parâmetros acústicos desejados de saída do modelo numérico poderiam ser obtidos nas bandas de frequências de 125 a 8.000 Hz (oitavas), porém, como já comentado no Capítulo 1, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de painéis acústicos aplicados a baixas e médias frequências e como o método (Híbrido) utilizado pelo software Odeon não é eficiente para as baixas frequências, optou-se por discutir e analisar então, as bandas de 500, 1000 e 2000 Hz nesta simulação.

Os resultados numéricos foram comparados com os resultados experimentais obtidos a partir de ensaios acústicos realizados no auditório. As medições foram efetuadas utilizando-se os seguintes equipamentos (Ver Fig. 7.12).

- Microcomputador;
- Analisador Pulse B&K 3560C;
- Amplificador de potência B&K 2716;
- Fonte dodecaédrica B&K 4296;

- Tripé para microfone;
- Microfone para medição em campo difuso B&K 4942;
- Calibrador para microfone 01dB CAL 21.



Figura 7.12 – Equipamentos utilizados nos ensaios acústicos do Auditório do LABEM – UFPA.

Assim, pôde-se determinar com a sala vazia o tempo de reverberação da sala e a distribuição do  $NPS(A)$  na região da audiência (1,10 m de altura do piso – Ver Fig. 7.13) e o tempo de reverberação com 30 pessoas sentadas aleatoriamente nas cadeiras do auditório (Ver Fig. 7.14).



Figura 7.13 – Medição do  $NPS(A)$  na região dos ouvidos da audiência.



Figura 7.14 – Auditório do LABEM – UFPA com audiência.

O tempo de reverberação foi medido através do decaimento do nível de pressão sonora da sala, a partir do seu nível de estado estacionário. As medições foram realizadas em seis pontos diferentes da sala com diferentes alturas de microfones, sendo realizadas três medições por ponto. Dessa forma, pôde-se fazer uma média que representasse o tempo de reverberação real da sala nas bandas de frequências de 500 a 2.000 Hz (oitavas) como já comentado anteriormente.

Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 7.15 e 7.16, que apresentam o tempo de reverberação médio obtido para o ensaio experimental (PULSE) e numérico (ODEON), respectivamente.

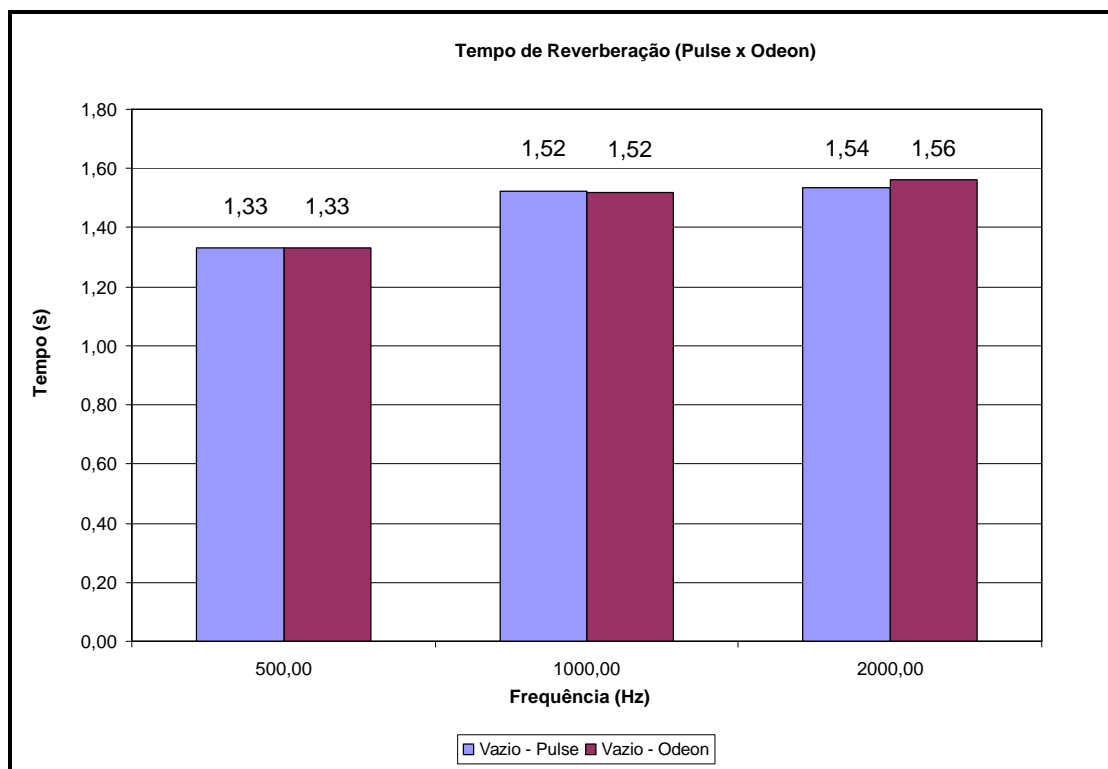


Figura 7.15 – Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA sem audiência (vazio).

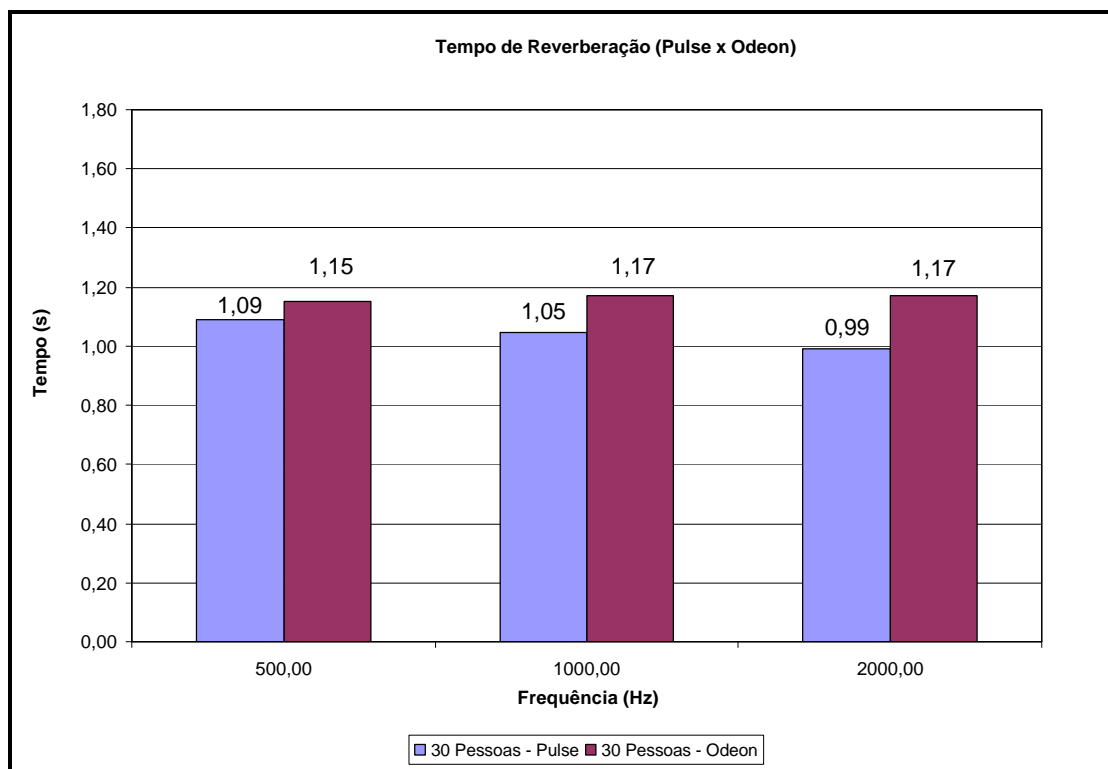


Figura 7.16 – Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA com audiência (30 pessoas).

As medições do  $NPS(A)$  foram realizadas em quarenta pontos diferentes da sala com uma única altura de microfone (1,10 m), criando uma malha retangular plana que representasse o receptor da sala sentado. Os resultados obtidos através das medições do  $NPS(A)_{Total}$  numérico e experimental, estão apresentados, respectivamente, na Figuras 7.17 e 7.18.

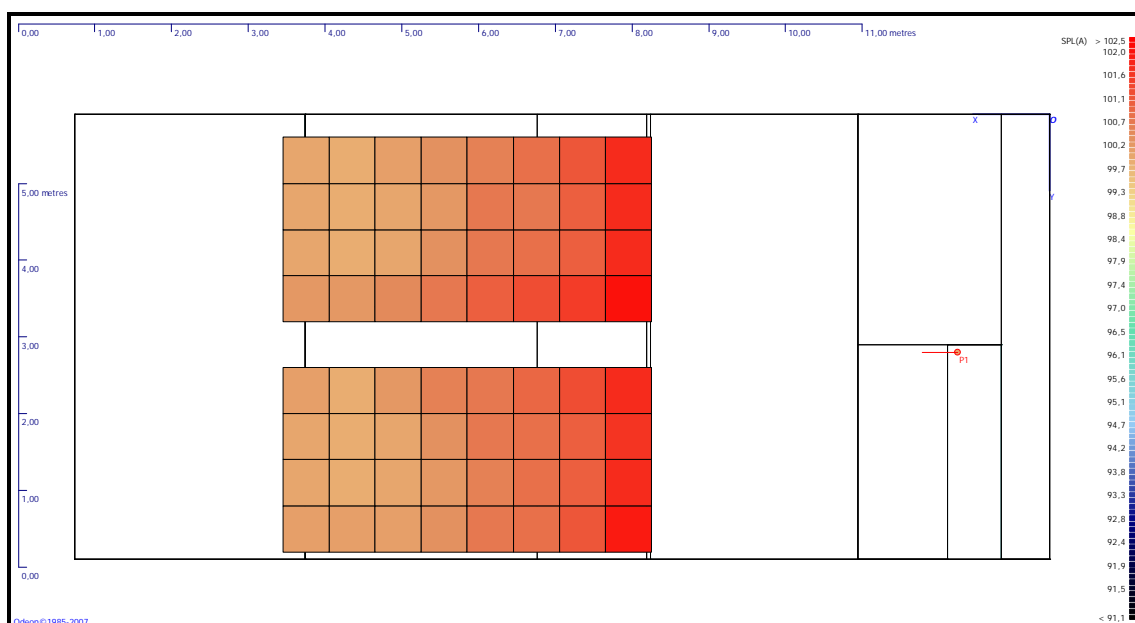
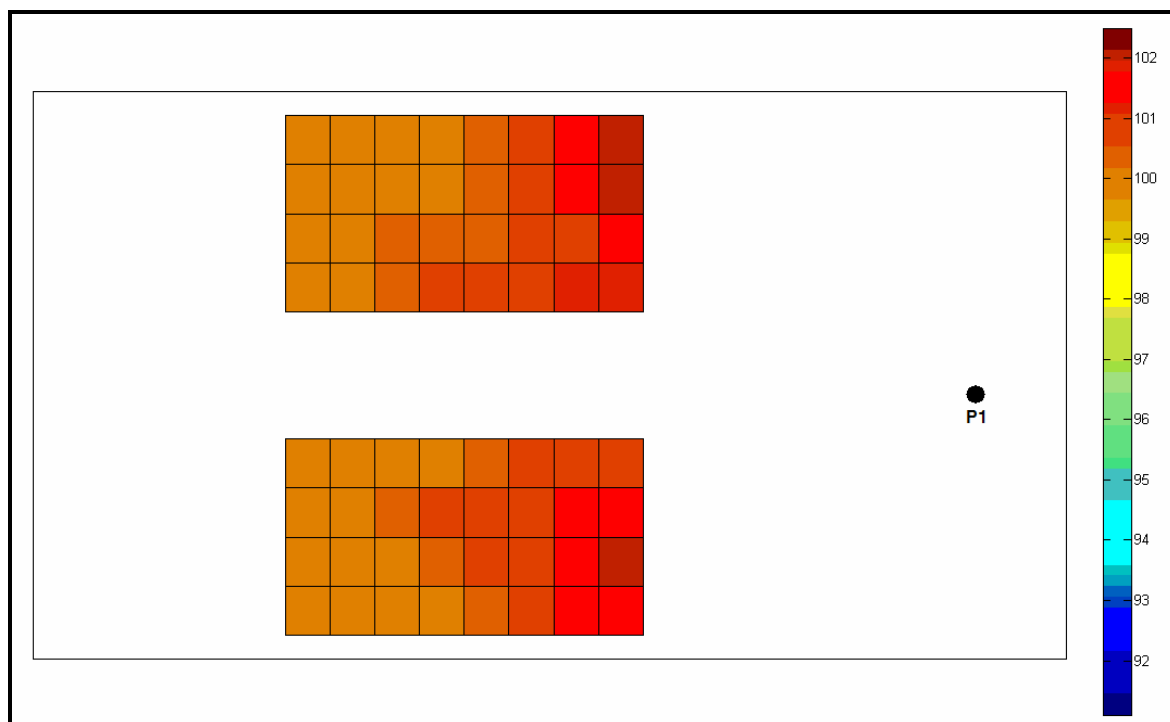


Figura 7.17 –  $NPS(A)_{Total}$  numérico para o auditório do LABEM – UFPA sem audiência (vazio).





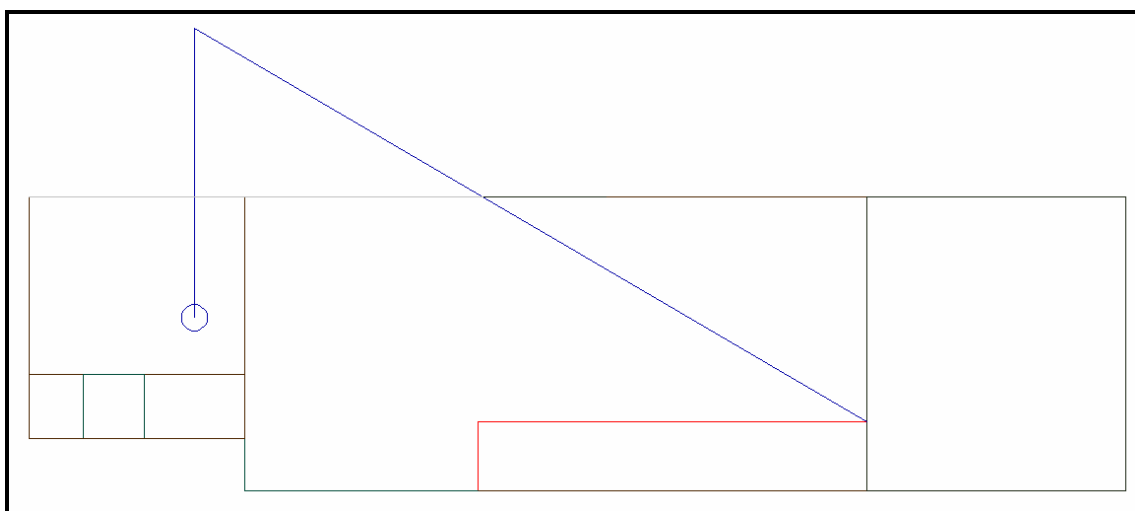
**Figura 7.18 –  $NPS(A)$  Total experimental para o auditório do LABEM – UFPA sem audiência (vazio).**

Desta forma, pode-se perceber que tanto para o caso dos resultados do tempo de reverberação quanto para a distribuição do  $NPS(A)$  na Sala, os resultados numéricos e experimentais apresentaram uma boa concordância, habilitando o modelo para a próxima etapa de simulação do comportamento da sala quando utiliza-se em seu interior os painéis ora desenvolvidos. Cabe-se destacar também que não é objetivo deste trabalho detalhar o procedimento de modelagem de recintos fechados, assim como obter uma perfeita predição do comportamento acústico do auditório, mas mostrar a contribuição da utilização dos painéis de fibras de coco na diminuição do tempo de reverberação e no aumento da inteligibilidade da sala. Em outras palavras, as possíveis hipóteses simplificadoras e condições de contorno adotadas na construção do modelo computacional, visando reproduzir o comportamento do auditório real, que provoquem divergências entre os resultados numéricos e experimentais, estão presentes em todos as simulações.

#### **7.4 – RESULTADOS E COMPARAÇÕES**

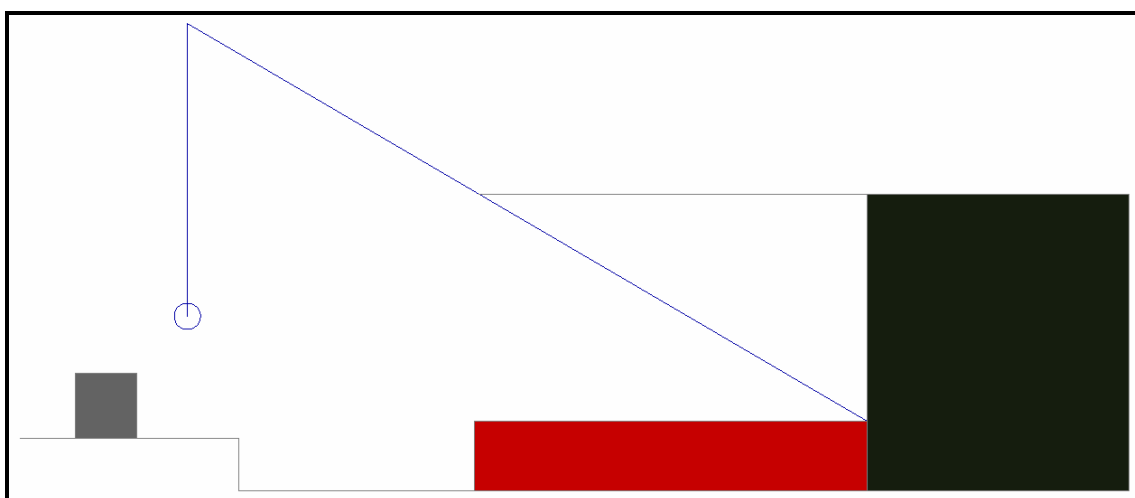
Anteriormente à realização das simulações numéricas com os painéis absorvedores, foi necessário definir o posicionamento dos mesmos. Neste caso,

optou-se por preencher as paredes do fundo do auditório e parte do seu teto, de tal forma que estes painéis não atrapalhem a reflexão do som que vem de um orador na parte frontal do auditório (fonte) até a última fileira de cadeiras da audiência. Para isso, realizou-se um estudo para determinação do caminho destas ondas sonoras através do Método da Fonte-Imagem Especular, como mostrado na Fig. 7.19 de forma que os painéis acústicos não atrapalhem o reforço sonoro imprescindível, principalmente, para os ouvintes mais afastados.

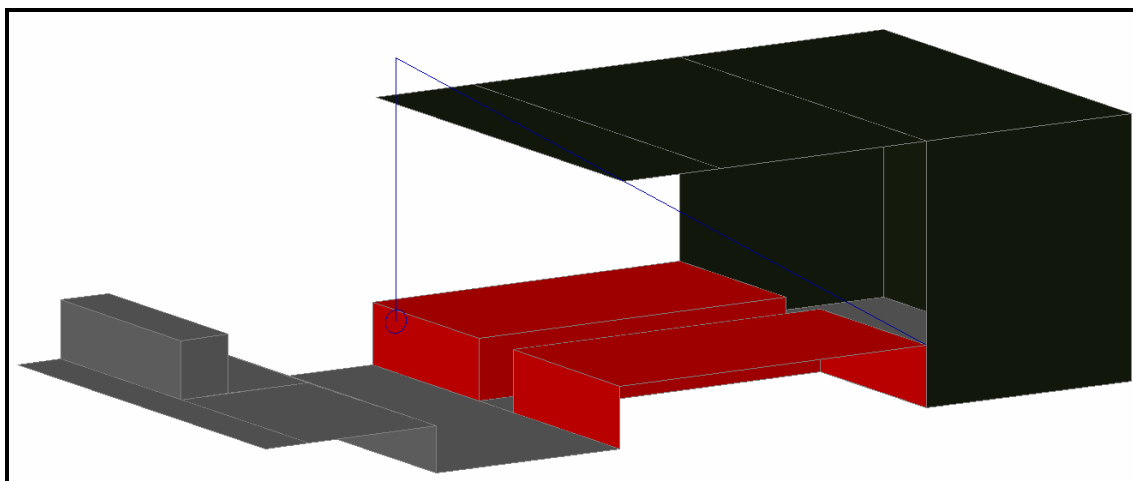


**Figura 7.19 – Estudo do caminho de projeção do som através do método da fonte-imagem especular.**

As Figuras 7.20 e 7.21 mostram a posição escolhida para os painéis acústicos (preto) em relação à audiência (vermelho) e ao orador.

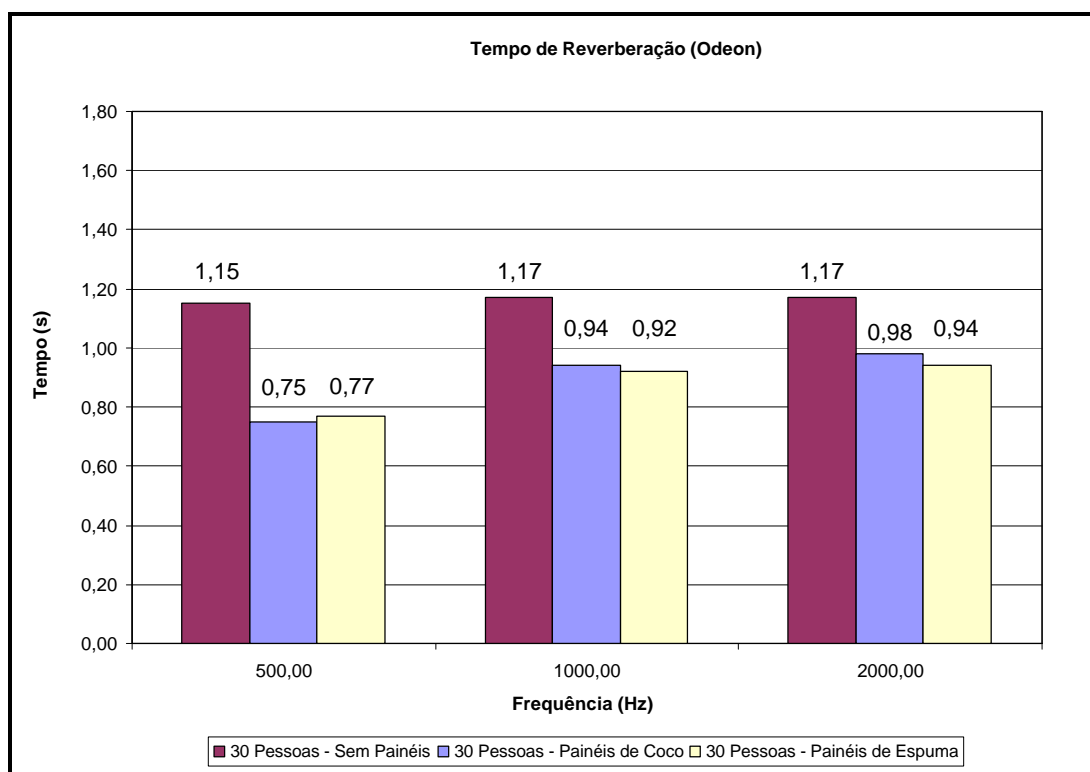


**Figura 7.20 – Posicionamento dos painéis acústicos no auditório LABEM – UFPA (vista lateral).**



**Figura 7.21 – Posicionamento dos painéis acústicos no auditório LABEM – UFPA (vista isométrica).**

Definida a posição dos painéis, foram analisados dois modelos. O primeiro com os painéis Tipo III.2 de fibra de coco e o segundo com os painéis Tipo IV de espuma. Na Fig. 7.22 apresenta-se a comparação entre o tempo de reverberação do auditório com 30 pessoas no seu interior ora sem painéis acústicos, ora com painéis Tipo III.2 de fibras de coco e ora com painéis Tipo IV de espuma.



**Figura 7.22 – Tempo de reverberação médio para o auditório do LABEM – UFPA com audiência (30 pessoas) – influência dos painéis acústicos.**

Nas Figuras 7.23, 7.24 e 7.25 apresentam-se os valores do  $NPS(A)$  na região da audiência com e sem a utilização dos painéis acústicos.

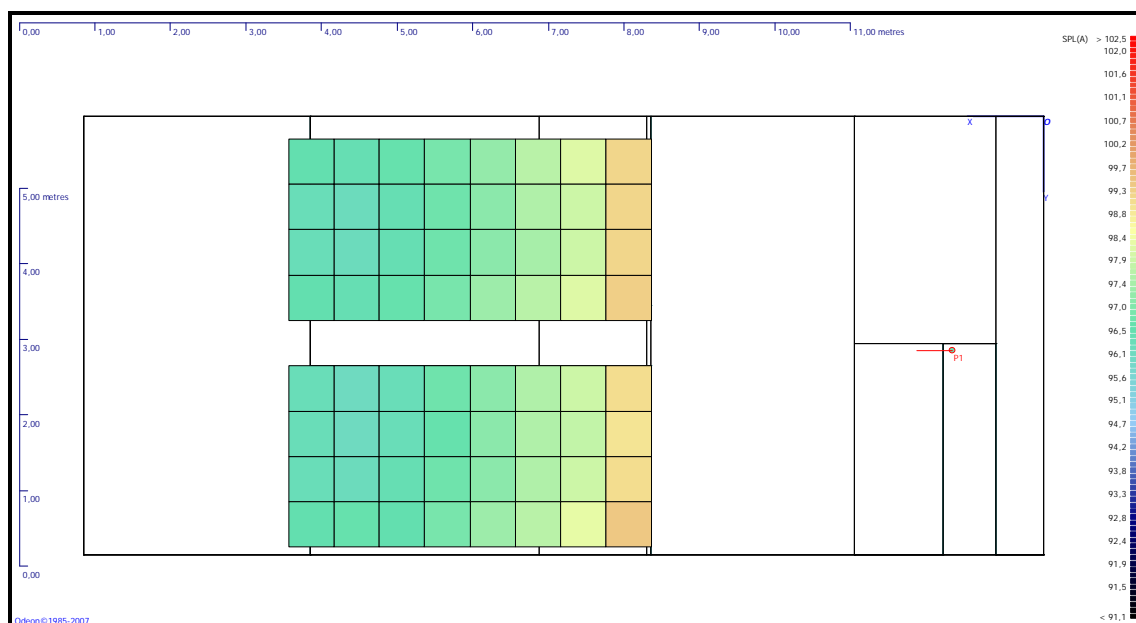


Figura 7.23 –  $NPS(A)$  Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – sem painéis acústicos.

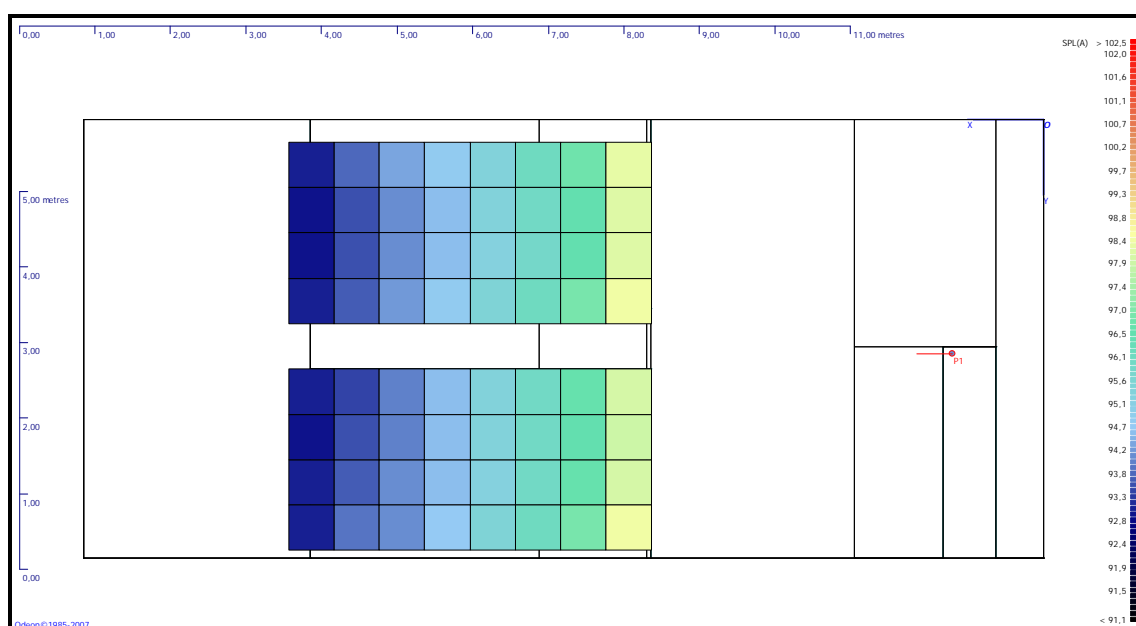
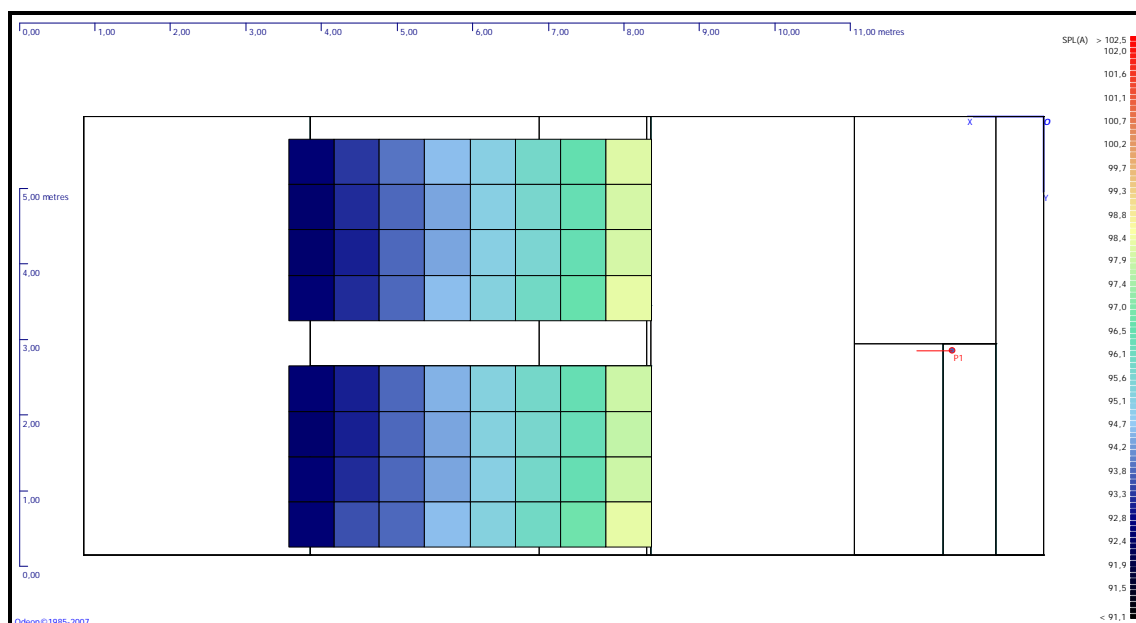
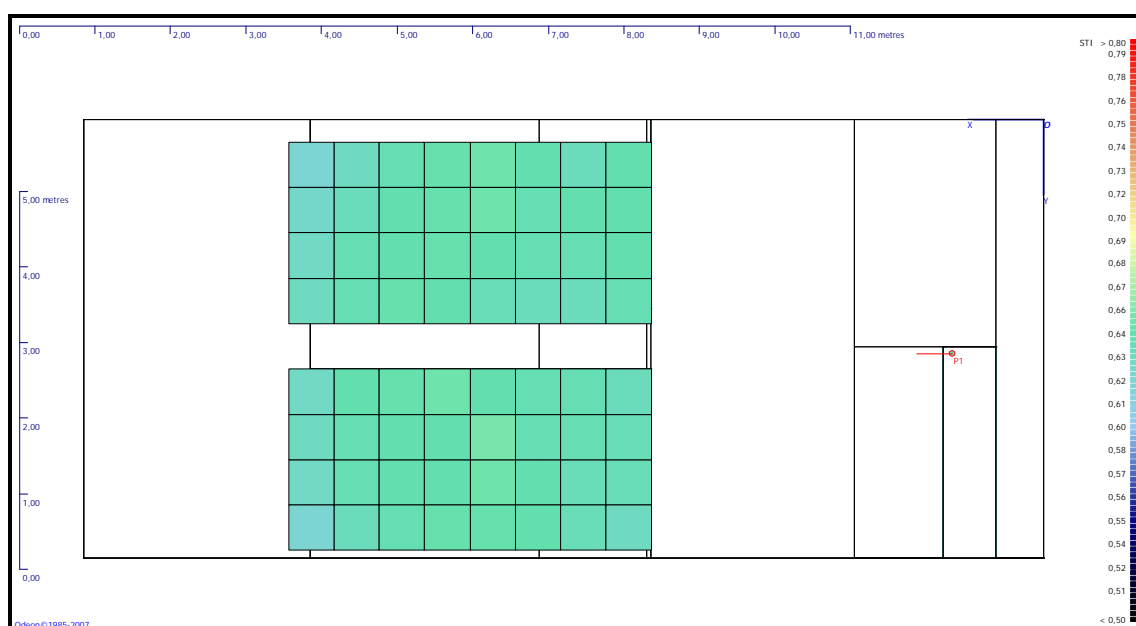


Figura 7.24 –  $NPS(A)$  Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo III.2 (fibra de coco).

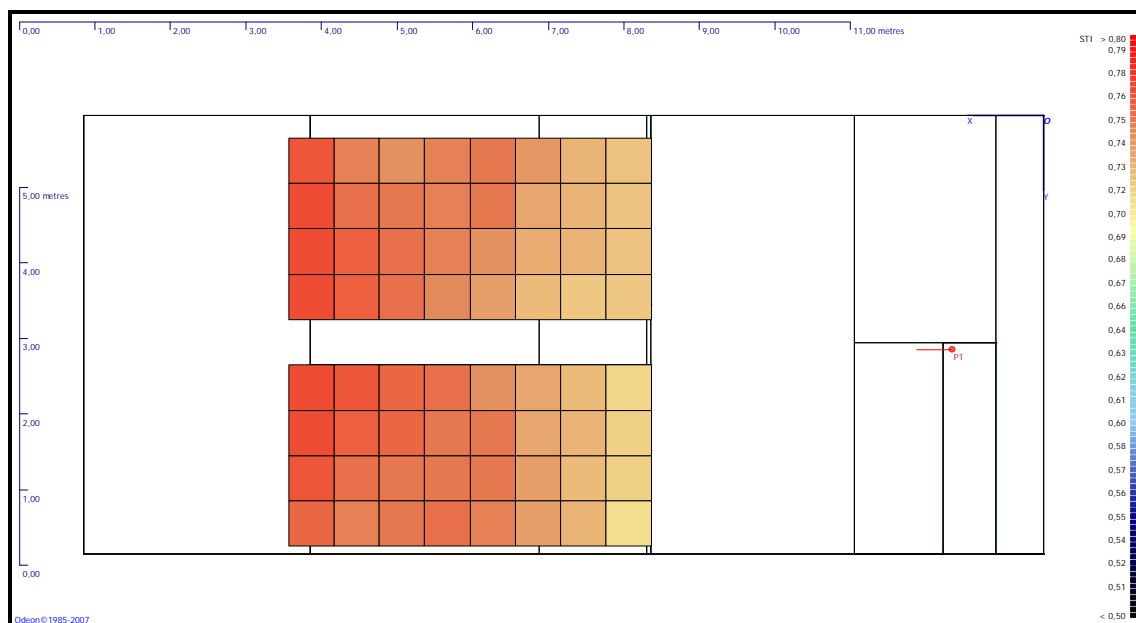


**Figura 7.25 –  $NPS(A)$  Total numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo IV (espuma).**

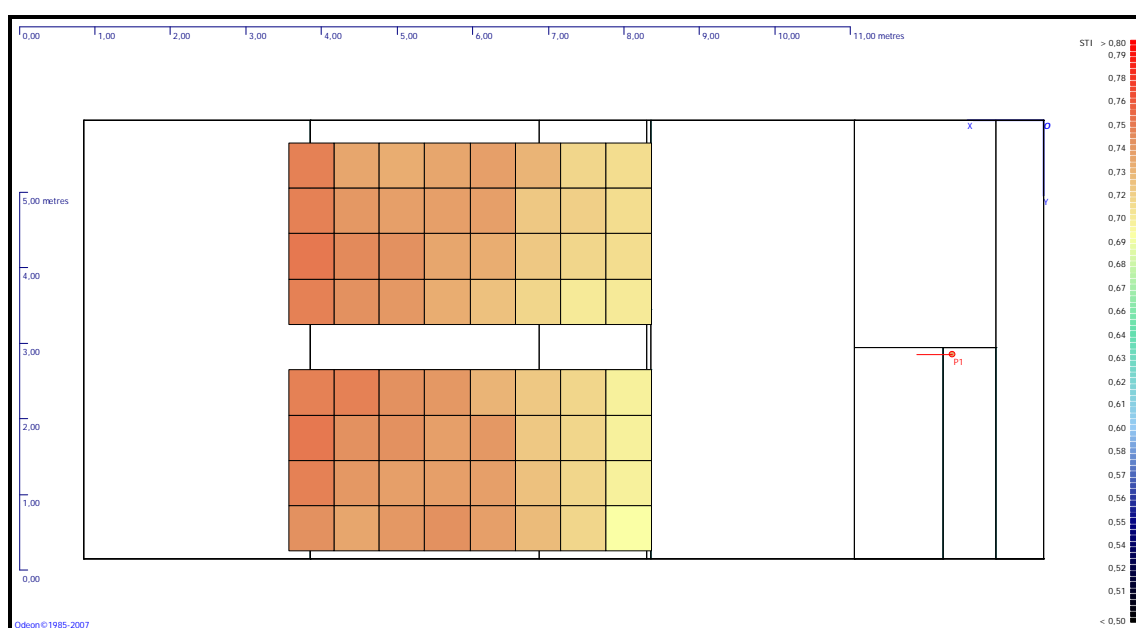
Nas Figuras 7.26, 7.27 e 7.28 apresentam-se os valores do  $STI$  (*Speech Transmission Index* – Índice de Transmissão da Fala), o qual é um estimador da inteligibilidade, na região da audiência com e sem a utilização dos painéis acústicos.



**Figura 7.26 –  $STI$  numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – sem painéis acústicos.**



**Figura 7.27 – STI numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo III.2 (fibra de coco).**



**Figura 7.28 – STI numérico para o auditório do LABEM – UFPA com audiência – painel Tipo IV (espuma).**

O tempo de reverberação é uma característica importante da sala. Até os últimos anos, esta característica, além de ser muito importante, era considerada o único parâmetro para avaliação do comportamento acústico de recintos. Salas para “fala” normalmente são desejadas com baixos tempos de reverberação. O tempo de reverberação está diretamente ligado à inteligibilidade no ambiente, pois em salas

muito reverberantes, necessita-se falar de forma mais lenta para que não haja dificuldade na compreensão da palavra. A inteligibilidade deve ser adequada para todos os ouvintes da sala (a relação sinal-ruído deve ser alta) e, para isso, deve-se garantir que a energia acústica esteja uniformemente distribuída no seu interior. As características naturais da voz do orador também devem ser preservadas, ou seja, as vogais (baixas frequência) e as consoantes (altas frequências) devem ser entendidas de forma distinta.

Assim, avaliando-se os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização dos painéis acústicos confeccionados a partir de fibras de coco teve um comportamento adequado com a finalidade no ambiente e eficiente, pois provocou a redução nos tempos de reverberação da sala (35%, 20% e 17% para as bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz, respectivamente) e o aumento da inteligibilidade de um valor médio de 0,63 para até 0,74.

É importante destacar que os painéis Tipo III.2 de fibras de coco apresentaram um comportamento similar aos painéis Tipo IV de espuma, amplamente comercializados e indicados por projetistas para o controle acústico de ambientes, o que demonstra a importância deste estudo tendo por base as vantagens, anteriormente comentadas, no que diz respeito a sua utilização (arquitetônico e aproveitamento vegetal renovável), aos benefícios sociais e econômicos (desenvolvimento da indústria regional) e a seu baixo custo quando comparado aos painéis existentes no mercado.

## 8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 8.1 – CONCLUSÕES

Essa dissertação de mestrado, ao final do desenvolvimento das atividades previstas, atingiu seus objetivos propostos, já que nela define-se e descreve-se o processo de fabricação de painéis acústicos, a partir da fibra de coco, determinam-se os principais parâmetros acústicos relacionados aos painéis de fibras de coco em baixas e médias frequências para controle acústico de recintos e desenvolve-se um modelo numérico capaz de estabelecer os parâmetros de controle de qualidade e custo, que auxiliam no desenvolvimento e na fabricação de novos painéis.

A utilização de uma metodologia de desenvolvimento de produto com base no “projeto informacional” e com coleta preliminar de informações, junto a algumas indústrias, profissionais das áreas de engenharia civil e arquitetura, e Estúdios de Gravação da região, antes do início propriamente dito do processo de desenvolvimento dos painéis acústicos confeccionados a partir de fibras de coco, facilitou a definição das principais características geométricas, relacionadas ao padrão arquitetônico regional, e acústicas, que estão relacionadas aos materiais acústicos absorventes, necessários para o controle da qualidade do som em ambientes fechados e/ou abertos. Mesmo sendo o processo de desenvolvimento de produto um processo de tomada contínua de decisões (que implica numa retroalimentação constante e não numa seqüência rígida), a proposta morfológica do projeto informacional adotada direciona as ações principais que devem ser executadas, encaminhando-as ao objetivo principal de obter as especificações de projeto. Isto permite uma ação encaminhada ao tratamento e análise da mencionada informação, visando um incremento qualitativo da mesma, até obtê-las, finalmente, na forma de especificações de projeto.

No que diz respeito ao processo de fabricação dos painéis de fibra de coco, cabe destacar que este estudo ainda não está totalmente concluído. A sua continuidade se faz necessária, principalmente nos aspectos relacionados à escolha do “tipo/nível de vulcanização” aos quais devem ser submetidos os painéis em desenvolvimento, já que optou-se por estudar inicialmente os painéis provenientes



do primeiro processo de vulcanização descrito no Capítulo 3. Ou seja, retiraram-se os painéis do processo produtivo, logo após a aplicação do produto químico “anti-chamas”, antes de retornar os mesmos para o auto-clave (“segunda vulcanização”). Por conseguinte, não foram executadas as etapas de lixamento e pintura, analisando-se então neste trabalho a forma mais simples que pode ser produzida de forma industrial. Como resultado desta etapa, tem-se o desenvolvimento e fabricação de um painel em fibra de coco que poderá ser confeccionado a partir de equipamentos já existentes e que são utilizados pelas empresas beneficiadoras da fibra, como é o caso da Indústria POEMATEC, que tem um convênio com a UFPA, sem maiores investimentos e sem prejuízo para a capacidade de operação e produção dos mesmos.

Quanto aos valores dos parâmetros físico-químicos e mecânicos obtidos para os painéis de fibra de coco, pode-se afirmar que os mesmos enquadram-se nas características desejadas para um painel acústico, com exceção dos painéis Tipo I com densidade de  $18 \text{ kg/m}^3$ , que foram reprovados no teste de flamabilidade, ou seja, não conseguiram impedir a propagação da chama, o que torna perigosa sua utilização. Outro fato importante a se destacar sobre os painéis Tipo I é que em função da baixa conexão entre suas fibras e de sua baixa densidade, eles acabam por apresentar uma grande facilidade para desfiar ou sofrer deformações plásticas.

Quanto às técnicas de medição dos parâmetros utilizados e discutidos neste trabalho, destaca-se que em muitos casos ainda existe a necessidade do desenvolvimento de melhores ferramentas e soluções, por exemplo, o desenvolvimento de técnicas de medição mais eficientes e precisas para as propriedades físicas como resistividade, tortuosidade e módulo de elasticidade, inclusive para materiais anisotrópicos, ou o desenvolvimento de teorias que possam relacionar as propriedades microscópicas e macroscópicas dos materiais. É importante frisar que estes parâmetros físicos não são independentes. Ao modificar-se a resistividade de um material, está também se alterando os valores de porosidade, tortuosidade etc. Portanto, o controle do comportamento acústico dos materiais poroelásticos deve ser feito em relação a diversos parâmetros, simultaneamente.

Em relação aos ensaios realizados nos tubos de impedância para determinação do coeficiente de absorção para incidência normal, pode-se perceber que ocorreu uma grande variação entre as espessuras das amostras de fibra de coco quando comparadas com as espessuras nominais e quando comparadas às amostras antes e depois do ensaio. Estas variações podem ser explicadas, pois os processos de produção e corte das amostras provocam uma deformação e variação da espessura das amostras em relação a suas espessuras nominais. Outro motivo, e que provavelmente causou maior prejuízo aos resultados, foi a dificuldade em colocar os corpos de prova no “porta amostras”, provocando não só a deformação da amostra após sua retirada, mas principalmente sua compressão e, conseqüentemente, a redução da espessura e fechamento dos poros, ainda no interior dos tubos. Isso explica o acoplamento inadequado entre maioria das curvas dos tubos grande e pequeno para as amostras de fibra de coco.

Nos ensaios realizados na mini-câmara reverberante observou-se, assim como nos ensaios nos tubos de impedância, uma variação entre as espessuras das amostras de fibra de coco e os valores nominais, o que também tem sua explicação no processo de produção e corte das amostras. Logo, até que os processos de corte parem de provocar estas deformações permanentes nos painéis estudados, deve-se considerar a título de comparação com outros painéis a espessura real da amostra.

De forma geral, em ambos os ensaios para determinação do coeficiente de absorção, o painel Tipo III.2 (fibra de coco) apresentou um comportamento similar ao painel Tipo IV (espuma), sendo que nas baixas frequências mostrou-se mais eficiente.

Os resultados numéricos dos materiais, utilizando o software VIOLINS, mostraram uma boa concordância com os resultados experimentais e provaram que a simulação pode ser uma ferramenta útil na predição do comportamento de tais modelos, já que assim como no ensaio do tubo de impedância, discutido no Capítulo 5, obteve-se uma melhor eficiência do painel Tipo III.2 para as frequências abaixo de, aproximadamente, 1200 Hz. Para garantir a boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais é muito importante o conhecimento dos mecanismos de dissipação de energia no interior dos materiais e que se tenha em mente as considerações e limitações de cada teoria utilizada nos modelos. Isto se verifica na Teoria de Biot, amplamente utilizada na modelagem dos materiais

porosos, e que possui algumas considerações que justificam as diferenças entre os resultados numéricos e experimentais, tais como a não contemplação da dissipação de energia nos poros fechados e consideração de um processo adiabático de dissipação nos materiais. Além disso, o uso de valores corretos para as propriedades físicas de cada material é de fundamental importância para uma correta predição. Porém, esta tarefa não é fácil, visto que os materiais porosos são essencialmente não-homogêneos e não raro na medição da resistividade, ou outra propriedade como a tortuosidade, de um mesmo material obtém-se um valor para uma amostra duas vezes maior que o da outra.

Avaliando-se os resultados obtidos na simulação numérica de um ambiente fechado real, quando utilizam-se ora os painéis Tipo III.2 e ora os painéis Tipo IV, pode-se concluir que a utilização dos painéis acústicos confeccionados a partir de fibras de coco teve um comportamento adequado e eficiente com a finalidade do ambiente, pois provocou a redução nos tempos de reverberação da sala (35%, 20% e 17% para as bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz, respectivamente) e o aumento da inteligibilidade de um valor médio de 0,63 para até 0,74. Os painéis Tipo III.2 de fibras de coco apresentaram um comportamento similar ao dos painéis Tipo IV de espuma, amplamente comercializados e indicados por projetistas para o controle acústico de ambientes, o que demonstra a importância deste estudo tendo por base as vantagens, anteriormente comentadas, no que diz respeito a sua utilização (arquitetônica e aproveitamento vegetal renovável), aos benefícios sociais e econômicos (desenvolvimento da indústria regional) e no seu baixo custo quando comparado aos painéis existentes no mercado.

Para efeito de comparação, realizou-se uma estimativa do custo de fabricação do painel Tipo III.2 a partir da projeção da quantidade de material consumida para sua fabricação, juntamente com resultados do levantamento de mercado realizado no início deste trabalho. Assim pode-se aproximar o custo por metro quadrado em torno de R\$ 58,00 (cinquenta e oito reais), cerca de 26,5% mais barato que o valor de mercado do Painel Tipo IV que está em torno de R\$ 79,00 (setenta e nove reais). Os valores usados nesta comparação estão sujeitos a variações no mercado de consumo e, principalmente, a ajustes no processo de produção dos painéis de fibras de coco, quando produzidos em escala industrial e contínua.

Com base nas informações geradas nas etapas anteriores, no Apêndice AP.G prepara-se um “portefólio” com o resumo das principais características comerciais do painel Tipo III.2 de fibra de coco ora desenvolvido, mostrando suas possíveis configurações de utilização, formas de apresentação, além de recomendações de uso e manutenção e estimativas de durabilidade.

O tratamento acústico de recintos, quando realizado na planta (fase inicial do projeto arquitetônico) tem um custo que equivale a 1% do valor total do projeto. Se o tratamento acústico for realizado depois da edificação pronta, este custo passa em média para 15 % do custo total da construção. Daí a grande importância do estudo desenvolvido que busca, além de servir como base para o desenvolvimento de painéis com características e tecnologias locais, difundir a filosofia de realizarem-se os projetos arquitetônicos com atenção aos parâmetros acústicos relacionados ao uso dos mesmos.

Espera-se que em um futuro próximo, com o registro da patente e da marca propostas e, com a continuidade deste trabalho de desenvolvimento de painéis acústicos, estejam disponíveis para a indústria regional procedimentos e parâmetros para a produção de painéis acústicos com alta eficiência e baixo custo, desenvolvendo-se novas tecnologias e valorizando-se a exploração dos recursos naturais da região sem danos ao meio ambiente. Com isso, proporciona-se uma maior aproximação e integração entre diferentes áreas de conhecimento das engenharias (Produção, Materiais, Processos, Mecânica dos Sólidos, Energia, Vibrações e Acústica), além de estreitar o relacionamento Universidade/Setor Produtivo.

Por fim, este trabalho foi fundamental para a construção da Infra-estrutura hoje disponível no Grupo de Vibrações e Acústica da UFPA, permitindo-se assim o desenvolvimento de outras pesquisas, dissertações de Mestrado e trabalhos de conclusão de curso.

## **8.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Baseado nas considerações e conclusões apresentadas, este trabalho pode ser estendido e aperfeiçoado de modo que algumas sugestões estão assinaladas a seguir:

- 
- Submeter os painéis Tipo III.2 a ensaios para determinação do coeficiente de absorção em câmara reverberante (escala real e certificada);
  - Avaliação detalhada das formas de fixação e manutenção dos painéis de fibra de coco, além de definição do processo de pintura dos mesmos, juntamente com a avaliação de sua influência sobre os parâmetros acústicos;
  - Para os Ensaios realizados nos tubos de impedância, principalmente no pequeno, utilizados para médias e altas frequências, sugere-se desenvolver um novo porta-amostras, de forma que as amostras não tenham suas características geométricas modificadas durante a realização do ensaio e também que seja avaliada a fonte sonora que não deve provocar reflexão das ondas sonoras no interior do tubo;
  - Análise do comportamento dos painéis de fibra de coco quando aplicados em outras configurações construtivas (divisórias, portas, painéis perfurados, silenciadores etc.), geométricas (desenvolvimento de painéis com superfícies não planas – tipo cunhas) e juntamente com outros materiais, como por exemplo, plásticos reciclados ou madeira, formando painéis multicamadas;
  - Estudo dos fenômenos de absorção de forma mais detalhada em frequências mais altas;
  - Estudo do comportamento dos painéis de fibra de coco e possíveis alterações em suas configurações construtivas e geométricas com foco na avaliação da perda de transmissão;
  - Desenvolvimento e utilização de outras técnicas de medição da resistividade ao fluxo, tortuosidade e módulo de elasticidade, visando minimizar as dificuldades encontradas neste trabalho;
  - Utilização de técnicas estatísticas, como por exemplo, o Planejamento Fatorial que aborda simultaneamente a influência de vários parâmetros envolvidos no desenvolvimento de novos painéis de fibra de coco;
  - Desenvolvimento de modelos numéricos para simulação de materiais anisotrópicos e sistemas multicamadas;
  - Levantamento de outras propriedades relacionadas não só com o comportamento acústico, mas também com o comportamento térmico e dinâmico dos painéis de fibra de coco;

– Elaboração de um Projeto de Desenvolvimento de Produto, através de todas as etapas (Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado) como forma de subsidiar futuros investimentos nos setores industriais da região.

---

## REFERÊNCIAS

AAKER, D. K.; VDAY, G. **Pesquisa de Marketing**. Atlas, São Paulo, 2001.

AKAO Y. **Quality Function Deployment. Integrating Customer Requirements into Products Design**. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, Norwalk, Connecticut, 1990.

ASTM C 522-03. **Standard Test Method for Airflow Resistance of Acoustical Materials**. 2003.

BACK, N. **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.

BALVEDI, A. **Medição e Simulação Acústica de Materiais Porosos e Sistemas Multicamadas**. 1998. 112p. In: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

BERANEK, L. L. **Noise and Vibration Control**. Ed. L. L. Beranek - INCE (1971). 1988.

BESKOW, C. et al. **Dialogue Conferences as a means to Improve Cooperation in Industrial Product Development**. ICED 97, Vol. 1, pp. 81-90, Tampere, 1997.

BIOT, M. A. **Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range. II. Higher frequency range**. Journal of the Acoustical Society of America, v. 28 (2), p. 168-191, 1956.

BODÉN, H.; ABOM, M. **Influence of errors on the two-microphone method for measuring acoustic properties in ducts**. JASA, vol. 79, nº 2, 1986.

BUARDILLARD, J. **La Génesis Idelógica de las Necesidades**. Anagrama, Barcelona, 1973.

BUARQUE, D. H. A. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Nova Fronteira S/A, Rio de Janeiro, 1996.

---

CHAMPOUX Y.; STINSON, M. R. **On acoustical models for sound propagation in rigid frame porous materials and the influence of shape factors.** JASA vol. 92, 1120-1131, 1992.

CHUNG, J. Y.; BLASER, D. A. **Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I – Theory. II – Experience.** JASA, vol. 68, nº 3, 1980.

DE MARCO, C. S. **Elementos da Acústica Arquitetônica.** Nobel. São Paulo – SP, 1982.

DIN 50011. **Testing of Materials, Structural Components and Equipment; Hot Cabinets; Directions for the Storage of Specimens.** 1960.

DIN 75201. **Determination of the windscreen fogging characteristics of trim materials in motor vehicles.** 1992-09.

EVBOUMWAN, N. et al. **A Survey of Design Philosophies, Models, Methods and Systems, Part B.** Journal of Engineering Manufacture, BO 4495 IMechE, 1996.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do Processo das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e sua Implementação Computacional.** Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

FROMM, E. **Tener o Ser?** Fondo de Cultura Económica, México, 1978.

GUEDES, R. C. **Projeto e Construção de uma Câmara Reverberante em Escala Reduzida para a Caracterização Acústica de Materiais Absorventes.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, 2007.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. **The House of Quality.** Harvard Business Review, May-Jun., 1988.

HUBKA, V.; EDER, W. E. **Theory of Technical Systems.** London, Springer-Verlag, 1988.



---

ISO 10534-1. **Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 1 : Method using standing wave ratio.** 1998.

ISO 10534-2. **Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2 : Transfer-function method.** 1998.

ISO 3740. **Acoustics-Determination of Sound Power levels of noise sources: Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms (ISO 3741). Precision methods for discrete frequency and narrow-band sources in reverberation rooms (ISO 3742).** 1998.

ISO-354. **Acoustics – Measurement of Sound Absorption in reverberation Rooms.** 1999.

KAULIO, M. et al. **Products Requirements Engineering. Methods Mediating Objctcs and Preconditions in SMEs.** ICED, vol. 2, pp. 617-630, Praga, 1995.

KING, B. **Better Design in Half the Time, Impleementing QFD, Quality Function Deployment in América.** Third edition, Published by Goal/QPC, 1987-1989.

LAURIKS, W. et al. **Determination of the tortuosity of porous materials using new air-coupled ultrasonic transducers.** 11th International FASE Symposium, Valência, 1994.

LONG, M. **Architectural Acoustics.** San Diego, Califórnia, Elsever, 2006.

MARCUSE, H. **El hombre Unidimensional.** J. Mortiz, México, 1968.

MASLOW, P. **Motivation and Personality.** New York, Harper and Row, 1954.

MC CLELLAND, J. L. **Research Group. Parallel Distributed Processing, Psychological and biological models.** Vol. 2, Cambridge, Mass., MIT Press, 1986.

MCCULLOCH, M. C. **Modelling absorbent materials in acoustic prediction and diagnostics.** In: Autotech 95.

---

MORTON, W.E.; HEARLE J.W.S. **Physical Properties of Textile Fibres**. The Textile Institute, Heinemann, London, 1975.

MURRAY, V. **Motivação e Emoção**. Rio de Janeiro, Zabor, 1973.

NBR 9176. **Determinação da Força de Indentação**. 1985.

NBR 9178. **Determinação das Características de Queima**. 1985.

PINHEIRO, R. M. **Comportamento do Consumidor e Pesquisa de Mercado**. 3a Edição, FGV, Rio de Janeiro, 2006.

POEMATEC. Fibras Naturais da Amazônia. **Revista PoemaTec**. Belém, UFPA, 2003.

RAYNOISE. **Manual, Numerical Integration Technologies**. N. V. 1993.

RODRIGUEZ, L. **Teoría del Diseño**. Tilde Editores S.A., México, 1989.

RSCHEWKIN, S. N. **The theory of sound**. Pergamon Press, 1963.

SELLE, G. **Ideología y Utopia del Diseño**. Gustavo Gil, Barcelona, 1973.

SOUZA, M. C. R. **Previsão do Ruído em Salas por Raios Acústicos e Ensaio Experimentais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 114p - 1997.

TENENBAUM, R. A.; CAMILO, T. S. **Método Híbrido para Simulação Numérica de Acústica de Salas: Teoria, Implantação Computacional e Validação Experimental**. Seminário Música Ciência Tecnologia: Acústica Musical, 1., 2004, São Paulo. Anais. Rio de Janeiro. Laboratório de Acústica e Vibrações, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004, p. 26-40. Disponível em: [http://gsd.ime.usp.br/acmus/publi/textos/02\\_tenenbaum.pdf](http://gsd.ime.usp.br/acmus/publi/textos/02_tenenbaum.pdf). Acesso em 15 de ago 2006.

ULRICH K.T.; EPPINGER S.D. **Product Design and Development**. McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.

---

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

AKKERMAN, S. **Normas Regulamentadoras no Brasil para Controle de Ruídos e Vibrações Industriais**, Revista Engenharia Ambiental, 1979.

ALLARD, J. F. et al. **Experimental study of the dynamic elastic moduli of porous materials**. 11th International FASE Symposium, Valência, 1994.

ALLARD, J. F. **Propagation of sound in porous media: modelling sound absorbing materials**. Inglaterra: Elsevier, 1993. 284 p.

ALLARD, J. F.; AKNINE, A.; DEPOLLIER, C. **Acoustical properties of partially reticulated foams with high and medium flow resistance**. Journal of the Acoustical Society of America, v. 79 (6), p. 1734-1740, 1986.

ALLARD, J. F.; CASTAGNÈD, B.; HENRY, M. **Evaluation of tortuosity in acoustic porous materials saturated by air**. Rev. Sci. Instrum., v. 65 (3), p. 754-755, março 1994.

ALLARD, J. F.; CHAMPOUX, Y. **New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials**. Journal of the Acoustical Society of America, v. 91 (6), p. 3346-3353, 1992.

ASTM E 756-83. **Measuring vibration-damping properties of materials**. 1983.

ATALLA, N.; BERNHARD, R. J. **Review of numerical solutions for low-frequency structural-acoustic problems**. Applied Acoustics 43, 271-294, 1994.

BENNERHULT, O., Öhlén, M. **Noise and vibration measurements as a tool for vehicle noise reduction – A question of using the right methods**. J. of Vehicle Design, vol. 8, 1987.

BODÉN, H.; ABOM, M. **Error analysis of two-microphone measurements in ducts with flow**. JASA, vol. 83, nº 6, 1988.

BOLTON, J. S. et al. **Layered fibrous treatments for a sound absorption and sound transmission**. Society of Automotive Engineers, Inc. 1997.

---

BOLTON, J.S.; KANG, Y.J. **Elastic porous materials for sound absorption and transmission control.** SAE Paper 971878, Proceedings of the 1997 Noise and Vibration Conference, Traverse City, p. 77-91, 1997.

BROWN, R. J. S. **Connection between formation factor of electrical resistivity and fluid-solid coupling factor in Biot's equations for acoustic waves in fluid-filled porous media.** Geophysics, Vol. 45, 1269-1275, 1980.

BROWN, R. L.; BOLT, R. H. **The measurement of flow resistance of porous acoustic materials.** JASA, vol. 13, 337-344, 1942.

BRÜEL & KJAER **Instruction Manual - Standing Wave Apparatus 4002.** 1979.

BYRNE, K. P. **Calculating the acoustical properties of plane uniform constructions.** Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, v. 111, p. 343-350, 1989.

CALÇADA, M. **Perda de transmissão sonora de sistemas multicamadas utilizando modelo analítico, análise estatística energética e elementos finitos.** Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CAVANAUGH, W.J. **Architectural Acoustics: principles and practice.** John Wiley & Sons, Inc, New York – USA, 1998.

CHAMPOUX, Y.; STTINSON, M. R.; DAIGLE, G. A. **Air-based system for the measurement of porosity.** Journal of the Acoustical Society of America, v. 89 (2), p. 910-916, fevereiro 1991.

CHU, W. T. **Transfer function technique for impedance and absorption measurements in an impedance tube using a single microphone.** JASA, vol. 80, 555-560, 1986.

COYETTE, J. P. **A generalized procedure for modeling multi-layer insulation systems.** Numerical Integration Technologies N. V., Leuven, Belgium, 1995.

CRAGGS, A. **The transient response of a coupled plate-acoustic system using plate and acoustic finite elements.** Journal of Sound and Vibration 15, 509-528, 1971.

---

CUTANDA, V.; PIETRZYK, A. **Low frequency sound transmission measurements and numerical simulations: A comparative study.** Proceedings of Inter-noise'97, Budapest, 1449-1452, 1997.

DELANY, M. E.; BAZLEY, E. N. **Acoustical properties of fibrous absorbent materials.** Applied Acoustics, v. 3, p. 105-116, 1970.

EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL. **Evaluating material parameters of poroelastic layers.** Belgium: K. U. Leuven, p. 14-17, 2001.

EWIN, D. J. **Modal testing : theory and practice.** John Wiley & Sons Inc., 1984.

FAHY, F. **Foundations of engineering acoustics.** London: Academic Press, 435p. 2003.

FAHY, F.J. **International Standards for the Determination of Sound Power Levels of Source Using Sound Intensity Measurement: an Exposition.** Applied Acoustic Vol. 50 N° 2, pp.90-109, 1997.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2a Edição, Universidade Federal de Santa Catarina, 696 p. 2000.

GERGES, S. N. Y. **Structure acoustic interaction in a enclosure.** The International Conference of Noise Control Engineering (Inter-Noise 79), Varsovia, Poland, 1979.

GORLE, P. **Fundamentos de planejamento do produto.** Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1976.

INGARD, K. U. **Notes on Sound Absorption Technology.** Noise Control Foundation, N.Y., USA, 1994.

IRIGARAY, H. A. **Gestão e desenvolvimento de Produtos e Marcas.** 2a Edição, FGV, Rio de Janeiro, 2007.

ISO 3745. **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.** 1977.

---

JOHANSSON, C.; SHI, W. **Experimental determination of reverberation time for low frequencies in an impact sound laboratory.** Proceedings of Inter-noise'96, Liverpool, 1779-1782, 1996.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços.** 3a Edição, Pioneira, São Paulo, 1997.

JURAN, J. M. **Controle da Qualidade.** Makron Books, São Paulo, 1992.

KINSLER, L. F.; FREY, A. R. **Fundamentals of Acoustics.** John Wiley & Sons, 1982.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustic.** Applied Science Publishers, 1979.

LEONARD, R. W. **Simplified flow resistance measurements.** JASA, vol. 17, 240-241, 1946.

LING, M. K. **Vehicle interior noise control using three-layer composites with polyurethane cores.** Journal of sound and vibration, n. 160(1), 1993.

LITWINCZIK, V. **Irradiação sonora de uma placa simplesmente apoiada revestida com material poroso.** Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 156 f, 2003.

LOPES, E. M. O. **Um estudo do método da viga vibrante aplicado à determinação das propriedades dinâmicas de elastômeros.** Dissertação de Mestrado, UFSC, 1989.

MAA, D. Y. **Formulae of sound field in enclosures.** Chinese Acta Acustica 14, 144-146. 1989.

MAFRA, M.P.A.; VIEIRA, R.J.A.; SOEIRO, N.S. **Caracterização e análise físico-química-mecânica de painéis acústicos de fibra do coco.** XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CREEM, São Paulo-SP, 2004.

MAFRA, M.P.A.; VIEIRA, R.J.A.; SOEIRO, N.S. **Desenvolvimento de bancada experimental e determinação da tortuosidade de materiais poroelásticos, utilizando o método da condutividade elétrica.** XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CREEM, São Paulo-SP, 2004.

---

MARIEZ E.; SAHRAOUI, S. **Measurement of mechanical anisotropic properties of acoustic foams for the Biot model.** Internoise 97 Proceedings, Budapeste, Hungria, 1997.

MEHTA, M. **Architectural Acoustics: principles and design.** Merrill Prentice Hall, New Jersey – USA, 1999.

MEIROVITCH, L. **Analytical methods in vibrations.** MacMillan Company, New York, 1967.

MELO, G.S.V; VIEIRA, R.J.A.; SOEIRO, N.S.; MORAES, D.S. **Modelagem numérica de um auditório através do método de traçado de raios visando o conforto acústico.** XXIX CILAMCE – Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Maceió-AL, 2008.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica Arquitectonica.** Universidad Del Museo Social Argentino, 1994.

MORAES, D. S. **Medição e Previsão Numérica do Comportamento Acústico de um Teatro Experimental para a UFPA.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, 2007.

MORSE, P. M. et al. **Relation between acoustic impedance and flow resistance of porous acoustic materials.** JASA vol.12, 475-476, 1941.

MORSE, P. M. **Vibration and Sound.** ASA, 1981.

MUNJAL, M. L. **Acoustics of ducts and mufflers: with application to exhaust and ventilation system design.** Canada: John Wiley & Sons, 328 p, 1987.

NBR 10151. **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o Conforto da Comunidade – Procedimento.** 1987.

NBR 10152. **Avaliação do Ruído Ambiente em Recintos de Edificações visando o Conforto dos Usuários – Procedimento.** 1987 e Errata de Junho 1992.

NBR 7731. **Guia para Execução de Ruído Aéreo e Avaliação dos seus Efeitos sobre o Homem.** 1983.

---

OLIVEIRA, A.G.P.; VIEIRA, R.J.A.; SOEIRO, N.S. **Acústica em ambientes fechados: determinação da potência sonora e do coeficiente de absorção acústica dos materiais**. III Encontro de Grupos Pet da Amazônia Legal – AmazonPet, Belém-PA, 2002.

OSIPOV, A.; MEES, P.; VERMEIR, G. **Numerical simulation of airborne sound transmission at low frequencies: The influence of the room and the partition parameters**. Proceedings of Inter-noise'97, Budapest, 759-762, 1997.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**, Edgard Blucher, São Paulo, 2005.

PANNETON R.; ATALLA, N. **Numerical prediction of sound transmission through finite multilayer systems with poroelastic materials**. JASA, vol. 100, 1996.

PANNETON R.; ATALLA, N., **The effects of multilayer sound-absorbing treatments on the noise field inside a plate backed cavity**. Journal of noise control engineering, nº 44(5), 1996.

PIERCE, A. D. **Acoustics and Introduction to its Physical Principles and Applications**. McGraw-Hill Book Company, 1981.

RAYLEIGH, J. W. S. **The theory of sound (Volume II)**. New York, Dover Publications, 1945.

RIBBENS, J. **Simultaneous engineering for new product development: manufacturing applications**, Wiley, USA, 2000.

SCARAZZATO, P.S. **Acústica Arquitetônica**. Apostila, Prof. Dr. USP – SP, 2002.

SEYBERT, A. F.; ROSS, D. F. **Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique**. JASA, vol. 61, 1362-1370, 1970.

SHIAU, N. M.; BOLTON, J. S.; KANG, Y. J. **Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials**. Journal of Sound and Vibration, v. 191 (3), p. 317-343, 1996.



---

SIMMONS, C. **Measurement of low frequency sound in rooms  $\frac{3}{4}$  A detailed comparison of methods.** Proceedings of Inter-noise'97, Budapest, 1371-1374, 1997.

STINSON, M. R.; DAIGLE, G. A. **Electronic system for the measurement of flow resistance.** JASA vol. 83, 1988.

SYSNOISE. **Manual, Numerical Integration Technologies and Technical specification.** LMS Numerical Technologies, Leuven, Belgium, N. V. 2002.

TOUTONGE, J. A. **Projeto e Construção de Câmaras Reverberantes em Escala Reduzida para o Estudo das Características de Perda de Transmissão de Divisórias confeccionadas a partir de Materiais Regionais.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, 2006.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process.** 2a Edição, McGraw-Hill, USA, 1997.

VIEIRA, R.J.A.; MAFRA, M.P.A.; SOEIRO, N.S. **Uma metodologia de fabricação de painéis acústicos confeccionados a partir da fibra de coco.** III Encontro de Grupos Pet da Amazônia Legal – AmazonPet, Belém-PA, 2002.

VIEIRA, R.J.A.; MAFRA, M.P.A.; SOEIRO, N.S. **Determinação e análise comparativa dos coeficientes de absorção de painéis confeccionados a partir da fibra de coco e um painel de uso comercial.** XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CREEM, São Paulo-SP, 2004.

VIEIRA, R.J.A.; MAFRA, M.P.A.; SOEIRO, N.S.; MELO, G.S.V. **Desenvolvimento e análise experimental para caracterização acústica de painéis de fibra de coco.** V Congresso Iberoamericano de Acústica, Santiago de Chile-Chile, 2006.

VIEIRA, R.J.A.; SOEIRO, N.S.; MELO, G.S.V. **Modelagem numérica de um material com características porosas e fibrosas através do método de elementos finitos visando a determinação da impedância acústica normal.** XXIX CILAMCE – Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Maceió-AL, 2008.

ZWIKKER, C.; KOSTEN, C. W. **Sound Absorbing Materials.** Elsevier Press, Amsterdam, 1949.

---

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DAS INDÚSTRIAS

**EMPRESA / ENTREVISTADO (a) / CARGO OU FUNÇÃO:** \_\_\_\_\_

**END.:** \_\_\_\_\_

**CIDADE / ESTADO:** \_\_\_\_\_ **TEL.:** \_\_\_\_\_ **DATA:** \_\_/\_\_/\_\_

**NOME DO PROJETO:** **Desenvolvimento de Painéis Acústicos, confeccionados a partir de Fibras de Coco, para Controle Acústico de Recintos Fechados.**

**RESUMO DO PROJETO:**

O controle acústico de ambientes é muito importante, pois o som assim como pode acalmar uma pessoa e até aumentar a produtividade de uma empresa, pode também lhe deixar irritada e com problemas de saúde já que o som exerce influências tanto fisiológicas como psicológicas. Assim, sempre que possível, aconselha-se que o controle de ruído seja feito como forma de minimizar-se estes efeitos.

Uma boa alternativa para o controle de ruído em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto em materiais fibrosos. Estes materiais de absorção sonora podem ser usados para revestimento interno das paredes dos ambientes, de modo que seja garantido um campo de pressão acústica tal que favoreça o conforto acústico do ambiente.

A Amazônia, devido a sua grande extensão territorial abriga uma flora com diversas espécies vegetais. Assim, dela são retirados milhares de produtos e sub-produtos naturais. Alguns desses produtos não são totalmente aproveitados e por isso seus resíduos acabam chegando a outros setores industriais, como é o caso da fibra de coco que serve até como estofamento para banco de automóveis.

Por outro lado a região amazônica é muito carente em estudos e pesquisas na área de acústica. Daí surgiu a idéia de se utilizar a fibra de coco para a confecção de painéis acústicos, objetivo principal da proposta deste projeto, de modo a se aproveitar as

características dos dois mecanismos de absorção sonora possíveis, ou seja, os dos materiais porosos e fibrosos.

Com o desenvolvimento dos painéis será possível criar novos setores na economia do estado, o que trará novos empregos e facilitará a compra e utilização desta tecnologia, visto que os painéis fabricados e vendidos no sul do país têm um alto custo. Finalmente, uma outra vantagem significativa é a da utilização destes painéis dentro de um contexto de harmonia das linhas arquitetônicas com características regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

### **DESEJOS EXPLÍCITOS DOS PROMOTORES DO PROJETO:**

- Desenvolvimento de um tipo de painel acústico que possa ser fabricado na região e que tenha uma alta eficiência e um baixo custo, atendendo as necessidades dos usuários / clientes da região.
- Desenvolvimento da tecnologia regional e valorização dos recursos naturais do estado.

### **PERGUNTAS**

1) Existe uma preocupação da empresa em utilizar produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

2) Existe preocupação com a aparência dos produtos utilizados para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

3) Os produtos para controle de ruídos utilizados satisfazem as condições de estética desejadas?

---

---

---

---

---

4) Comente sobre o custo dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

5) Qual o risco de trabalhar com os produtos para controle de ruídos, no que se refere a segurança de quem usa os mesmos?

---

---

---

---

---

6) Há reclamação por parte dos funcionários com relação à eficiência dos produtos para controle de ruídos? Já existiram casos de problemas de saúde devido a falta de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

7) Na visão da empresa, os produtos para controle de ruídos utilizados / existentes são eficientes?

---

---

---

---

---

8) A empresa tem preferência pelo uso dos produtos para controle de ruídos ou pelo uso dos equipamentos de proteção individual (EPI's)? Por quê?

---

---

---

---

---

9) Qual o nível de conhecimento da sua empresa sobre esses produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

10) Os produtos utilizados no controle de ruídos são padronizados (dimensões, cores, formas, etc.)?

---

---

---

---

---

11) Os produtos para controle de ruídos utilizados são descartáveis e/ou recicláveis?

---

---

---

---

---

12) Quais as vantagens e desvantagens durante a montagem e desmontagem dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

13) Para que são usados os produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

14) Os produtos para controle de ruídos utilizados têm problemas de conservação e durabilidade? Quais?

---

---

---

---

---

15) Quando é especificado algum produto para controle de ruídos, quem fica responsável por essa parte do projeto, a própria empresa ou outra empresa especializada?

---

---

---

---

---

---

16) Os produtos para controle de ruídos utilizados são comprados através de fornecedores da região? Quais os fornecedores?

---

---

---

---

---

17) Qual a função dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

18) Como é feita a manutenção dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

19) Comente quanto ao custo da manutenção.

---

---

---

---

---

20) Quais os materiais que compõem os produtos de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

21) A empresa tem registro de problemas referentes à falta de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

22) Qual o setor responsável pelo controle dos níveis de ruído na empresa?

---

---

---

---

---

23) Existe alguma influência do nível de ruído na empresa na sua produtividade? Por quê?

---

---

---

---

---

24) A empresa está satisfeita com a qualidade dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---



---

25) As especificações técnicas dos produtos para controle de ruído são bem conhecidas e confiáveis? Como e onde foram conseguidas?

---

---

---

---

---

26) Comentários Gerais:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DOS PROJETISTAS (ENGENHEIROS E ARQUITETOS)

**EMPRESA / ENTREVISTADO (a) / CARGO OU FUNÇÃO:** \_\_\_\_\_

**END.:** \_\_\_\_\_

**CIDADE / ESTADO:** \_\_\_\_\_ **TEL.:** \_\_\_\_\_ **DATA:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**NOME DO PROJETO: Desenvolvimento de Painéis Acústicos, confeccionados a partir de Fibras de Coco, para Controle Acústico de Recintos Fechados.**

**RESUMO DO PROJETO:**

O controle acústico de ambientes é muito importante, pois o som assim como pode acalmar uma pessoa e até aumentar a produtividade de uma empresa, pode também lhe deixar irritada e com problemas de saúde já que o som exerce influências tanto fisiológicas como psicológicas. Assim, sempre que possível, aconselha-se que o controle de ruído seja feito como forma de minimizar-se estes efeitos.

Uma boa alternativa para o controle de ruído em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto em materiais fibrosos. Estes materiais de absorção sonora podem ser usados para revestimento interno das paredes dos ambientes, de modo que seja garantido um campo de pressão acústica tal que favoreça o conforto acústico do ambiente.

A Amazônia, devido a sua grande extensão territorial abriga uma flora com diversas espécies vegetais. Assim, dela são retirados milhares de produtos e sub-produtos naturais. Alguns desses produtos não são totalmente aproveitados e por isso seus resíduos acabam chegando a outros setores industriais, como é o caso da fibra de coco que serve até como estofamento para banco de automóveis.

Por outro lado a região amazônica é muito carente em estudos e pesquisas na área de acústica. Daí surgiu a idéia de se utilizar a fibra de coco para a confecção de painéis

acústicos, objetivo principal da proposta deste projeto, de modo a se aproveitar as características dos dois mecanismos de absorção sonora possíveis, ou seja, os dos materiais porosos e fibrosos.

Com o desenvolvimento dos painéis será possível criar novos setores na economia do estado, o que trará novos empregos e facilitará a compra e utilização desta tecnologia, visto que os painéis fabricados e vendidos no sul do país têm um alto custo. Finalmente, uma outra vantagem significativa é a da utilização destes painéis dentro de um contexto de harmonia das linhas arquitetônicas com características regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

### **DESEJOS EXPLÍCITOS DOS PROMOTORES DO PROJETO:**

- Desenvolvimento de um tipo de painel acústico que possa ser fabricado na região e que tenha uma alta eficiência e um baixo custo, atendendo as necessidades dos usuários / clientes da região.
- Desenvolvimento da tecnologia regional e valorização dos recursos naturais do estado.

### **PERGUNTAS**

1) Existe uma preocupação dos clientes e/ou da empresa em utilizar produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

2) Existe cobrança por parte dos clientes quanto a aparência dos produtos utilizados para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

3) Os produtos para controle de ruídos utilizados satisfazem as condições de estética desejadas pela empresa e pelos clientes?

---

---

---

---

---

4) Comente sobre o custo dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

5) O que os clientes acham desses custos?

---

---

---

---

---

6) Qual o risco de trabalhar com os produtos para controle de ruídos, no que se refere a segurança de quem usa os mesmos?

---

---

---

---

---

7) Os produtos para controle de ruídos utilizados / existentes são eficientes?

---

---

---

---

---

8) Os clientes acreditam na eficiência dos produtos para controle de ruídos ou preferem utilizar os equipamentos de proteção individual (EPI's)?

---

---

---

---

---

9) Qual o nível de conhecimento da sua empresa sobre esses produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

10) Os produtos utilizados no controle de ruídos seguem normas de funcionamento e são padronizados (dimensões, cores, formas, etc.)?

---

---

---

---

---

11) Os produtos para controle de ruídos utilizados são descartáveis e/ou recicláveis?

---

---

---

---

---

---

12) Quais as vantagens e desvantagens durante a montagem e desmontagem dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

13) Para que são usados os produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

14) Os produtos para controle de ruídos utilizados têm algum problema quanto ao transporte?

---

---

---

---

---

15) Os produtos para controle de ruídos utilizados são difíceis de serem armazenados? Se sim, quais essas dificuldades?

---

---

---

---

---

16) Quando é especificado algum produto para controle de ruídos, quem fica responsável por essa parte do projeto, a própria empresa ou outra empresa especializada?

---

---

---

---

---

17) Os produtos para controle de ruídos utilizados são comprados através de fornecedores da região? Quais os fornecedores?

---

---

---

---

---

18) Os seus clientes têm uma boa aceitação quanto a compra desses produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

19) Qual a função dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

20) Como é feita a manutenção dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

21) Os clientes podem fazer a manutenção / substituição dos produtos para controle de ruídos sem auxílio especializado?

---

---

---

---

---

22) Comente quanto ao custo da manutenção para os executantes e para os clientes.

---

---

---

---

---

23) Quais os materiais que compõem os produtos de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

24) Qual o peso (e/ou massa específico) médio dos produtos utilizados para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

25) A empresa está satisfeita com a qualidade dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---



---

---

---

26) Os clientes estão satisfeitos com a qualidade os produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

27) As especificações técnicas dos produtos para controle de ruído são bem conhecidas e confiáveis? Como e onde foram conseguidas?

---

---

---

---

---

28) Comentários Gerais:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DOS ESTÚDIOS DE MÚSICA

ESTÚDIO / ENTREVISTADO (a) / CARGO OU FUNÇÃO: \_\_\_\_\_

END.: \_\_\_\_\_

CIDADE / ESTADO: \_\_\_\_\_ TEL.: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_/\_\_/\_\_

**NOME DO PROJETO: Desenvolvimento de Painéis Acústicos, confeccionados a partir de Fibras de Coco, para Controle Acústico de Recintos Fechados.**

### RESUMO DO PROJETO:

O controle acústico de ambientes é muito importante, pois o som assim como pode acalmar uma pessoa e até aumentar a produtividade de uma empresa, pode também lhe deixar irritada e com problemas de saúde já que o som exerce influências tanto fisiológicas como psicológicas. Assim, sempre que possível, aconselha-se que o controle de ruído seja feito como forma de minimizar-se estes efeitos.

Uma boa alternativa para o controle de ruído em ambientes fechados é a utilização de materiais de absorção sonora, onde parte da energia acústica é transformada em energia térmica através da viscosidade do ar, o que ocorre tanto em materiais porosos quanto em materiais fibrosos. Estes materiais de absorção sonora podem ser usados para revestimento interno das paredes dos ambientes, de modo que seja garantido um campo de pressão acústica tal que favoreça o conforto acústico do ambiente.

A Amazônia, devido a sua grande extensão territorial abriga uma flora com diversas espécies vegetais. Assim, dela são retirados milhares de produtos e sub-produtos naturais. Alguns desses produtos não são totalmente aproveitados e por isso seus resíduos acabam chegando a outros setores industriais, como é o caso da fibra de coco que serve até como estofamento para banco de automóveis.

Por outro lado a região amazônica é muito carente em estudos e pesquisas na área de acústica. Daí surgiu a idéia de se utilizar a fibra de coco para a confecção de painéis acústicos, objetivo principal da proposta deste projeto, de modo a se aproveitar as

---

características dos dois mecanismos de absorção sonora possíveis, ou seja, os dos materiais porosos e fibrosos.

Com o desenvolvimento dos painéis será possível criar novos setores na economia do estado, o que trará novos empregos e facilitará a compra e utilização desta tecnologia, visto que os painéis fabricados e vendidos no sul do país têm um alto custo. Finalmente, uma outra vantagem significativa é a da utilização destes painéis dentro de um contexto de harmonia das linhas arquitetônicas com características regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

### **DESEJOS EXPLÍCITOS DOS PROMOTORES DO PROJETO:**

- Desenvolvimento de um tipo de painel acústico que possa ser fabricado na região e que tenha uma alta eficiência e um baixo custo, atendendo as necessidades dos usuários / clientes da região.
- Desenvolvimento da tecnologia regional e valorização dos recursos naturais do estado.

### **PERGUNTAS**

1) Existe uma preocupação do estúdio em utilizar produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

2) Existe preocupação com a aparência dos produtos utilizados para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

3) Os produtos para controle de ruídos utilizados satisfazem as condições de estética desejadas?

---

---

---

---

---

4) Comente sobre o custo dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

5) Qual o risco de trabalhar com os produtos para controle de ruídos, no que se refere a segurança de quem usa os mesmos?

---

---

---

---

---

6) Há reclamação por parte dos usuários com relação à eficiência dos produtos para controle de ruídos? Já existiram casos de problemas de saúde devido à falta de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

7) Na visão do estúdio, os produtos para controle de ruídos utilizados/existentes são eficientes?

---

---

---

---

---

8) O estúdio tem preferência pelo uso dos produtos para controle de ruídos ou pelo uso dos equipamentos de proteção individual (EPI's)? Por quê?

---

---

---

---

---

9) Qual o nível de conhecimento do seu estúdio sobre esses produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

10) Os produtos utilizados no controle de ruídos são padronizados (dimensões, cores, formas, etc.)?

---

---

---

---

---

11) Os produtos para controle de ruídos utilizados são descartáveis e/ou recicláveis?

---

---

---

---

---

12) Quais as vantagens e desvantagens durante a montagem e desmontagem dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

13) Para que são usados os produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

14) Os produtos para controle de ruídos utilizados têm problemas de conservação e durabilidade? Quais?

---

---

---

---

---

15) Quando é especificado algum produto para controle de ruídos, quem fica responsável por essa parte do projeto, o próprio estúdio ou outro profissional especializado?

---

---

---

---

---

16) Os produtos para controle de ruídos utilizados são comprados através de fornecedores da região? Quais os fornecedores?

---

---

---

---

---

17) Qual a função dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

18) Como é feita a manutenção dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

---

19) Comente quanto ao custo da manutenção.

---

---

---

---

---

20) Quais os materiais que compõem os produtos de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

21) O estúdio tem registro de problemas referentes à falta de controle de ruídos?

---

---

---

---

---

22) Existe alguma pessoa responsável pelo controle dos níveis de ruído no estúdio?

---

---

---

---

---

23) Existe alguma influência do nível de ruído no estúdio na produtividade? Por quê?

---

---

---

---

---



24) O estúdio está satisfeito com a qualidade dos produtos para controle de ruídos?

---

---

---

---

---

25) As especificações técnicas dos produtos para controle de ruído são bem conhecidas e confiáveis? Como e onde foram conseguidas?

---

---

---

---

---

26) Comentários Gerais:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE D – PROGRAMA PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO E DE ABSORÇÃO NORMAL (TUBO DE IMPEDÂNCIA)

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Programa para Calculo do Coeficiente de Absorcao %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Limpeza de Variaveis e Tela
    close all;
    clear;
    clc;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Dados de Entrada %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%

load DadEnt2.mat;

%%%

for AA = 1:Tubos

    if AA <= (Tubos/2)

        for GG = 1:FTubos(7,AA)

            BB = 'H12T';
            CC = 'C12T';
            DD = num2str(AA);
            EE = 'A';
            FF = num2str(GG);

            PLANILHAH12 = strcat(BB,DD,EE,FF);
            PLANILHAC12 = strcat(CC,DD,EE,FF);

            H12{GG,AA} = xlsread(NFRF1,PLANILHAH12);

            C12{GG,AA} = xlsread(NFRF1,PLANILHAC12);

        end

    else

```

---

```

for GG = 1:FTubos(7,AA)

    BB = 'H12T';
    CC = 'C12T';
    DD = num2str(AA);
    EE = 'A';
    FF = num2str(GG);

    PLANILHAH12 = strcat(BB,DD,EE,FF);
    PLANILHAC12 = strcat(CC,DD,EE,FF);

    H12{GG,AA} = xlsread(NFRF2,PLANILHAH12);

    C12{GG,AA} = xlsread(NFRF2,PLANILHAC12);

end

end

end

%%%

for AA = 1:Tubos

    for GG = 1:FTubos(7,AA)

        for NLin = 1:(FTubos(3,AA)+1)

            HH12(NLin,1) = H12{GG,AA}(NLin,3)+i*H12{GG,AA}(NLin,4);

            H12{GG,AA}(NLin,5) = HH12(NLin,1);

        end

        %%%

        NK = (2*pi/FTubos(10,AA))*H12{GG,AA}(:,2);

        %%%

        for NLin = 1:(FTubos(3,AA)+1)

            RR(NLin,1) = ((HH12(NLin,1)-exp(-i*NK(NLin,1)*FTubos(5,AA)))
                /(exp(i*NK(NLin,1)*FTubos(5,AA))-HH12(NLin,1)))*exp(i*2*NK(NLin,1)
                *FTubos(6,AA));

            R{GG,AA} = RR;

            AALFA(NLin,1) = 1 - (abs(RR(NLin,1))^2);

```

---

```

        ALFA{GG,AA} = AALFA;
    end
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for AA = 1:Tubos
    for GG = 1:FTubos(7,AA)
        MMMSTD{1,AA}(GG,:) = (ALFA{GG,AA})';
    end
end
for AA = 1:Tubos
    MMSTD{1,AA} = std(MMMSTD{1,AA});
end
for AA = 1:Tubos
    MSTD{1,AA} = (MMSTD{1,AA})';
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for AA = 1:Tubos
    ALFAMM{1,AA} = zeros((FTubos(3,AA)+1),1);
end
for AA = 1:Tubos
    for GG = 1:FTubos(7,AA)
        ALFAMM{1,AA} = ALFAMM{1,AA} + ALFA{GG,AA};
    end
end
end

```

---

```
for AA = 1:Tubos
    ALFAM{1,AA}(:,1) = H12{1,AA}(:,2);
    ALFAM{1,AA}(:,2) = ALFAMM{1,AA}(:,1) / FTubos(7,AA);
end
%%%
save ('DadSai2.mat','H12','C12','R','ALFA','ALFAM','MSTD');
%%%
```

---

## APÊNDICE E – ROTINA COMPUTACIONAL

### SYSNOISE/VOLINS (PAINEL III.2)

New Name 'Amostra Coco' Model 1 File PainelEsp007CocoIII2-50HZ.sdb Return  
Option Violins Frequency Return

Environment Section SETUP RFBUFFERSIZE '10000' Return

Import Mesh Format Ansys File MalhaEsp007Coco-005.cdb Return

Check Merge Return

Renumber

Node Z = 0

Return

Layer 1

Name 'Amostra'

Elements Between Z = 0,0.07

Return

Material PoroElastic Name 'Coco'

Young Real 1283226.06 Imag 91109.05 Poisson Real 0.3 Imag 0 RhoS 1200

RhoF 1.22 Resistivity Real 3439.54 Imag 0 Porosity 0.86

Tortuosity 1.5 Alpha 1 QFactor 150000

LossFactor 0.03

Elements Layer 1

Return

Boundary

UZ Real 0 Imag 0

Nodes Z = 0

---

Return

Boundary

UX Real 0 Imag 0 UY Real 0 Imag 0

Nodes All

Return

Boundary

FZ Real 1 Imag 0

Nodes  $Z = 0.07$

Return

Boundary Impervious

Faces  $X = 0$

Return

Boundary Impervious

Faces  $X = 0.005$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Y = 0$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Y = 0.005$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Z = 0$

Return

Save Return

Solve

Frequency 170 To 1570 LinStep 50

Return

---

Combine

{Calculo da Impedancia Normalizada

Read Node 5 Impedance

Vector 0 0 1

Return

Constant Real 415.03 Imag 0

Divide

Write Function File Imped.txt Return

Write Name ImpedanceSys File Imped.res Return

{Calculo da Absorcao

Read Node 5 Impedance

Vector 0 0 1

Return

Constant Real 415.03 Imag 0

Divide

Enter

Real

Constant Real 4 Imag 0

Multiply

Exchange

Enter

Real

Constant Real 1 Imag 0

Add

Square



Exchange

Imag

Square

Add

Divide

Write Function File Absor.txt Return

Write Name Absorption File Absor.res Return

Return

---

## APÊNDICE F – ROTINA COMPUTACIONAL SYSNOISE/VIOLINS (PAINEL IV)

New Name 'Amostra Roc30' Model 1 File PainelRoc30IV-50HZ.sdb Return

Option Violins Frequency Return

Environment Section SETUP RFBUFFERSIZE '10000' Return

Import Mesh Format Ansys File MalhaRoc30.cdb Return

Check Merge Return

Renumber

Node Z = 0

Return

Layer 1

Name 'Amostra'

Elements Between Z = 0,0.03

Return

Material PoroElastic Name 'Roc30'

Young Real 35282.73 Imag 3457.7 Poisson Real 0.3 Imag 0 RhoS 600

RhoF 1.22 Resistivity Real 6473.21 Imag 0 Porosity 0.95

Tortuosity 5.53 Alpha 1 QFactor 150000

LossFactor 0.2

Elements Layer 1

Return

Boundary

UZ Real 0 Imag 0

Nodes Z = 0

---

Return

Boundary

UX Real 0 Imag 0 UY Real 0 Imag 0

Nodes All

Return

Boundary

FZ Real 1 Imag 0

Nodes  $Z = 0.03$

Return

Boundary Impervious

Faces  $X = 0$

Return

Boundary Impervious

Faces  $X = 0.005$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Y = 0$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Y = 0.005$

Return

Boundary Impervious

Faces  $Z = 0$

Return

Save Return

Solve

Frequency 170 To 1570 LinStep 50

Return

---

Combine

{Calculo da Impedancia Normalizada

Read Node 5 Impedance

Vector 0 0 1

Return

Constant Real 415.03 Imag 0

Divide

Write Function File Imped.txt Return

Write Name ImpedanceSys File Imped.res Return

{Calculo da Absorcao

Read Node 5 Impedance

Vector 0 0 1

Return

Constant Real 415.03 Imag 0

Divide

Enter

Real

Constant Real 4 Imag 0

Multiply

Exchange

Enter

Real

Constant Real 1 Imag 0

Add

Square

Exchange

Imag

Square

Add

Divide

Write Function File Absor.txt Return

Write Name Absorption File Absor.res Return

Return

## APÊNDICE G – ABSORCOCO – PAINÉIS DE FIBRAS DE COCO (PORTEFÓLIO)



### Uso/Aplicação:

Desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Pará e fabricado no Brasil, o AbsorCOCO é a alternativa ideal para os ambientes que precisam de um desempenho acústico profissional, porém, buscam preservar as características amazônicas. A formulação especial do AbsorCOCO, resulta em superfície plana de textura irregular para aumentar sua absorção, compondo visual agradável para estúdios e ambientes em geral (domésticos ou industriais).



### Benefícios:

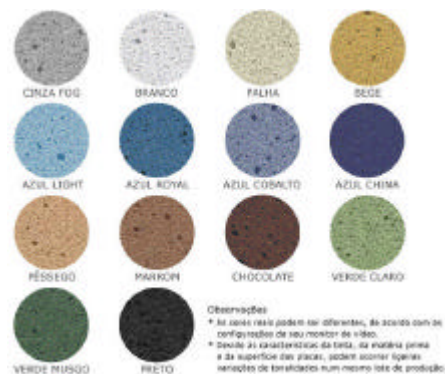
O AbsorCOCO, além de seu desempenho acústico notável em todas as faixas de frequência, destaca-se no tratamento dos sons graves. Permite em sua instalação um acabamento estético discreto. A fácil instalação do AbsorCOCO dispensa qualquer preparo especial do teto ou paredes, constituindo-se no próprio acabamento final. Permite aplicação em estúdios que já estejam operando, com o mínimo de interferência no local.

### Características técnicas:

**Material:** Fibras de Coco e Látex Flexível, especialmente formulado na densidade  $130 \text{ kg/m}^3$ , aditivada com agentes para redução da propagação de chamas.

**Pintura:** a tinta utilizada na pintura das placas foi desenvolvida especialmente para manter as características de segurança ao fogo e de não obstrução dos poros.

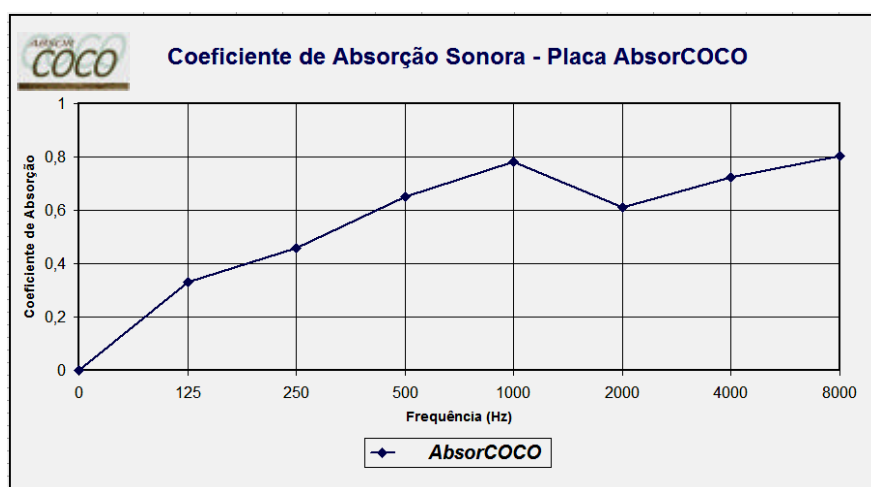
**Cores:** branca, bege, palha, azul dentre as 14 cores de nosso catálogo, podendo formular cores especiais sob consulta.



**Dimensões:** Placa 1000 x 1000 x 90 mm<sup>3</sup>, podendo ser produzida em dimensões especiais.

**Segurança ao fogo:** Norma FMVSS 302/1999 "*Determination of burning behaviour of interior materials*". Os painéis recebem tratamento através de aditivos de retardância a chama, que melhoram sua performance quanto à segurança ao fogo, conforme indicado nos ensaios do item acima, entretanto, os ensaios em geral não conseguem reproduzir situações reais de fogo, razão pela qual pedimos que consultem as legislações específicas de seu Município/Estado quanto à utilização de materiais de revestimento e produtos de acabamento na construção civil.

**Absorção acústica:** os gráficos abaixo reproduzem os valores alcançados em medição de absorções sonoras em câmara reverberante em escala reduzida, realizadas pelo método descrito na norma internacional ISO 354.



Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Coef. Absorção (*)	0,33	0,46	0,65	0,78	0,61	0,72	0,80

(\*) Valores obtidos em Câmara Reverberante Reduzida.

**Garantia:** 5 anos, desde que sua instalação seja realizada conforme instruções do fabricante, quanto à utilização do adesivo, integridade da superfície a ser aplicada e não ocorrência de contaminação do ambiente.

### Manutenção e Limpeza das Placas AbsorCOCO:

**Como limpar as placas acústicas AbsorCOCO?** A limpeza do produto, se necessária, pode ser feita facilmente através de leve aspiração ou com escova de cerdas macias. O AbsorCOCO pode ser limpo com esponja umedecida em água e sabão neutro, removendo-se o resíduo com pano limpo e seco. **NÃO é recomendada a utilização de produtos químicos de limpeza**, pois estes podem comprometer a integridade das placas acústicas.

**As placas acústicas AbsorCOCO podem ser pintadas?** As placas acústicas coloridas foram desenvolvidas para manter suas características de absorção e aspecto decorativo. Havendo a necessidade, a possibilidade de pintura no local será estudada caso a caso. As placas na cor natural (sem pintura) não devem ser pintadas após sua instalação, pois terão os poros obstruídos, reduzindo sua performance acústica. A utilização de tintas a base de solventes, como tinta *spray*, poderá comprometer a performance e a vida útil do produto.

## ANEXO A – METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO COM A TÉCNICA DE UM MICROFONE

Em processos considerados estacionários, a obtenção dos dois sinais não precisa ser feita simultaneamente. Assim, pode-se eliminar qualquer erro associado à diferença de amplitude ou fase entre os microfones. Neste caso, a função de transferência  $H_{12}$  pode ser obtida com apenas 1 (um) microfone e escrita em termos da função de transferência entre os sinais e a fonte de sonora (alto-falante na caixa acústica).

Tem-se que:

$$H_{12} = \frac{G_{12}}{G_{11}} = \frac{P_1^* P_2}{P_1^* P_1} \quad (1)$$

Onde:  $G_{12}$  – Espectro Cruzado dos Sinais 1 e 2;

$G_{11}$  – Auto-Espectro do Sinal 1;

$P_1$  – Pressão Sonora 1 no domínio da freqüência;

$P_1^*$  – Complexo conjugado de  $P_1$ ;

$P_2$  – Pressão Sonora 2 no domínio da freqüência;

Pode-se escrever a função de transferência entre a fonte e os sinais do microfone como:

$$H_{1F} = \frac{G_{1F}}{G_{11}} = \frac{P_1^* P_F}{P_1^* P_1} \quad \text{e} \quad H_{F2} = \frac{G_{F2}}{G_{FF}} = \frac{P_{F1}^* P_2}{P_F^* P_F}$$

Onde:  $P_F$  – Pressão Sonora da Fonte no domínio da freqüência;

$P_F^*$  – Complexo Conjugado de  $P_F$ ;

Multiplicando  $H_{1F}$  e  $H_{F2}$ , temos:  $H_{1F} \times H_{F2} = \frac{P_1^* P_F}{P_1^* P_1} \cdot \frac{P_F^* P_2}{P_F^* P_F} = \frac{P_2}{P_1}$ , que é a

função de transferência  $H_{12}$ . Desta forma, conclui-se que:

$$H_{12} = H_{1F} \times H_{F2} \quad (2)$$

Assim, as funções de transferência  $H_{1F}$  e  $H_{F2}$  são obtidas, calcula-se  $H_{12}$ , e então determina-se a impedância acústica e o coeficiente de absorção normal.