

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**Caracterização Acústica de Ginásios de Esportes  
Multifuncionais da cidade de Campinas, SP.**

**Carlos Eduardo Rodrigues**

**Orientadora: Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Arquitetura e Construção.

**Campinas, SP**

**2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R61c                      Rodrigues, Carlos Eduardo  
                                Caracterização acústica de ginásios de esportes  
                                multifuncionais da cidade de Campinas / Carlos Eduardo  
                                Rodrigues. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

                                Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.  
                                Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
                                Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

                                1. Acústica . 2. Acústica Arquitetônica. I. Bertoli,  
                                Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de  
                                Campinas. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.  
                                III. Título.

                                Título em Inglês: Characterization acoustics multipurpose gymnasium of sports  
                                of the Campinas's city

                                Palavras-chave em Inglês: Acoustics architectural, Quality acoustics, Gymnasia  
                                of sports

                                Área de concentração: Arquitetura e Construção

                                Titulação: Mestre em Engenharia Civil

                                Banca examinadora: Paulo Sergio Scarazzatto, João Gualberto Baring

                                Data da defesa: 16/08/2008

                                Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

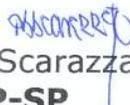
**Caracterização Acústica de Ginásios de Esportes  
Multifuncionais da cidade de Campinas, SP.**

**Carlos Eduardo Rodrigues**

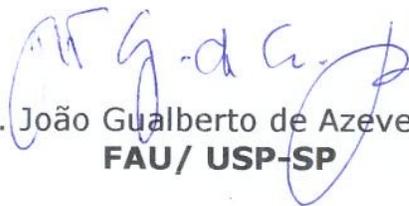
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Stelamaris Rolla Bertoli  
**Orientadora/ FEC/ UNICAMP-SP**



Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato  
**FEC/ UNICAMP-SP**



Prof. Dr. João Gualberto de Azevedo Baring  
**FAU/ USP-SP**

Campinas – SP, 15 de Agosto de 2008

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Luiz Roberto Rodrigues e Ana Alice Rodrigues pela dedicação, apoio, compreensão, carinho, afeto e principalmente pelo amor incondicional.

Ao meu irmão Luis Fernando Rodrigues, pela força e incentivo.

A minha linda afilhada/sobrinha Ana Clara Camargo Rodrigues.

E aos meus avós João Batista e Izaltina de Mello (*in memoriam*)

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Professora Dr. Stelamaris pelo empenho na orientação, pela ajuda, sempre com objetividade e clareza, pelo carinho e por acreditar no desenvolvimento desta pesquisa além da grande amizade.

A Capes pela concessão de bolsa de mestrado.

A Deus por me fazer acreditar: "nunca desistir"

A Izabella Andrade dos Reis, pela força, amor, carinho, compreensão e incentivo

Aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental e Física, Daniel e Obadias, pela dedicação e ajuda em todos os momentos dessa dissertação, e a amizade.

Alem da dedicação, agradeço meus pais por acreditarem em mim, no incentivo e na força que me deram desde o inicio.

Ao Prof. Gaspar Dutra pela correção de português

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização desta pesquisa

“A coisa mais bela que o homem  
pode experimentar é o mistério.  
É esta a emoção fundamental que está  
na raiz de toda a ciência e arte.”  
*(Albert Einstein)*

“A arquitetura é uma ciência, surgindo de muitas outras,  
e adornada com muitos e variados ensinamentos:  
pela ajuda dos quais um julgamento é formado daqueles  
trabalhos que são o resultado das outras artes”  
*(Vitruvio)*

## RESUMO

Estímulos sonoros semelhantes podem gerar diferentes percepções sonoras num ambiente. Os estímulos sonoros são avaliados de forma objetiva (medidas acústicas), mas a percepção do som que é bastante subjetiva requer outro tipo de avaliação. Espaços como ginásios de esportes podem proporcionar ao usuário diferentes sensações sonoras dependendo de sua atividade. Urbanisticamente, os ginásios de esportes são edificações muito importantes, destacando-se na maioria das vezes por sua volumetria e por sua estética arquitetônica, sendo uma obra de referência (símbolo urbano). Desde sua origem histórica, estas edificações têm a função de servir principalmente as atividades e eventos esportivos, mas no final do século XX, a concepção funcional dos ginásios foi ampliada. Os ginásios de esportes são utilizados também para assembleias escolares, palestras, exposições, formaturas, shows, eventos, feiras e apresentações musicais e teatrais, sendo considerados como espaços multifuncionais. Esses espaços são ambientes onde a propagação sonora gera inúmeros problemas de ruído. O objetivo desta pesquisa é caracterizar acusticamente alguns ginásios de esportes, quanto à tipologia, volumetria, capacidade de absorção e isolamento, de forma a contribuir com parâmetros a serem utilizados futuramente em projetos de edificação com qualidade acústica. Foram avaliados três ginásios esportivos multifuncionais com tipologias diferentes situados na cidade de Campinas. A caracterização acústica baseou-se nas medidas dos parâmetros tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), clareza ( $C_{80}$ ), definição ( $D_{50}$ ), nível de critério (NC), índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes (%ALCons). Esses parâmetros acústicos são obtidos por meio da técnica de resposta impulsiva e calculados pelo programa computacional de avaliação acústica de salas, DIRAC da Bruel & Kjaer. Pelas dimensões do espaço, o próprio procedimento de medição é um fator determinante na avaliação. Os resultados da análise da avaliação acústica e a comparação com as informações do projeto arquitetônico permitiram estabelecer fatores favoráveis e desfavoráveis do projeto arquitetônico que influenciaram o desempenho acústico. Identificou-se também a viabilidade de adequação acústica dos espaços estudados.

**Palavras Chaves:** acustica arquitetônica, qualidade acustica, ginásios de esportes.

## **ABSTRACT**

Similar sonorous stimulus may promote different sound perceptions in the environment. Sonorous stimulus may be objectively evaluated by acoustic measurements however, sound perceptions evaluation (subjectively) requires another specific methods. Spaces like sport gymnasiums can promote different sensations for the users depending on their activities. This type of building is very important in the cities, basically to this size and esthetic. Since the ends of 20<sup>th</sup> century, the function of these buildings has been extended. Nowadays, gymnasiums are used for different types of meetings, like speeches, expositions, fairs and others. Therefore, sport gymnasiums are multifunctional spaces with different levels of requirements concerning acoustic performance. On the other hand, the sound propagation in these buildings can generate many problems of noise, decreasing the acoustic performance. In this context, this work aims to evaluate some sport gymnasiums concerning to the typology, absorption capacity and isolation. These parameters can be used for better acoustic building design. Basically, the acoustic evaluation contemplates the following parameters: reverberation time (TR), early decay time (EDT), clarity ( $C_{80}$ ), definition ( $D_{50}$ ) and speech transmission index (STI). These acoustic parameters were obtained through the impulsive technique and calculated by a room acoustics evaluation software DIRAC from Bruel & Kjaer. The acoustic evaluation results and the architecture design information were used to establish good and bad conditions in terms of the acoustic performance. Finally, the viability of adequacy of the buildings evaluated concerning the acoustic performance was made.

**Keywords:** acoustics architectural, quality acoustics, gymnasia of sports.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	<b>01</b>
<b>2. Arquitetura de Ginásios de Esportes</b> .....	<b>05</b>
2.1 Características construtivas e funcionais de Ginásios de Esportes .....	06
<b>3. Avaliação Acústica de Ambientes</b> .....	<b>13</b>
3.1 Fundamentação Teórica .....	15
3.1.1 Tempo de Reverberação (TR) .....	16
3.1.2 Tempo de Decaimento Inicial (EDT) .....	20
3.1.3 Definição ( $D_{50}$ ) .....	21
3.1.4 Clareza ( $C_{80}$ ) .....	22
3.1.5 Espectro Sonoro .....	22
3.1.6 Classificação de Curvas NC .....	23
3.1.7 Índice de Transmissão da Fala .....	25
3.1.8 Porcentagem de Consoantes não Compreendidas - %ALCons (Percentage Articulation Loss of Consoants) .....	26
3.2 Método de Obtenção de Parâmetros Provenientes da Técnica de Resposta Impulsiva .....	27
<b>4. Acústica de Ginásios de Esportes</b> .....	<b>31</b>
<b>5. Materiais e Métodos</b> .....	<b>45</b>
5.1 Objeto de Estudo .....	46
5.2 Caracterização Acústica .....	47
5.3 Parâmetros Base de Comparação .....	51
<b>6. Resultados e Análises</b> .....	<b>59</b>
6.1 Ginásio Multidisciplinar da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp .....	59
6.1.1 Resultados dos Parâmetros Acústicos .....	63
6.1.1.1 Tempo de Reverberação – TR .....	63

6.1.1.2 Tempo de Decaimento Inicial – EDT .....	66
6.1.1.3 Definição - $D_{50}$ .....	68
6.1.1.4 Clareza - $C_{80}$ .....	70
6.1.1.5 Espectro Sonoro .....	73
6.1.1.6 Classificação da Curva NC (Noise Criteria) .....	75
6.1.1.7 Índice de Transmissão da Fala - STI (Speech Transmission Index) ...	75
6.2 Clube Campineiro de Regatas e Natação .....	77
6.2.1 Resultados dos Parâmetros Acústicos .....	80
6.2.1.1 Tempo de Reverberação – TR .....	81
6.2.1.2 Tempo de Decaimento Inicial – EDT .....	83
6.2.1.3 Definição - $D_{50}$ .....	86
6.2.1.4 Clareza - $C_{80}$ .....	88
6.2.1.5 Espectro Sonoro .....	91
6.2.1.6 Classificação da Curva NC .....	92
6.2.1.7 Índice de Transmissão da Fala - STI .....	92
6.3 Tênis Clube de Campinas .....	95
6.3.1 Resultados dos Parâmetros Acústicos .....	98
6.3.1.1 Tempo de Reverberação – TR .....	98
6.3.1.2 Tempo de Decaimento Inicial – EDT .....	100
6.3.1.3 Definição - $D_{50}$ .....	102
6.3.1.4 Clareza - $C_{80}$ .....	104
6.3.1.5 Espectro Sonoro .....	106
6.3.1.6 Classificação da Curva NC .....	107
6.3.1.7 Índice de Transmissão da Fala - STI .....	108
6.4 Estudos de raios sonoros .....	110
6.5 Em Resumo .....	120
• Tempo de Reverberação - TR .....	120
• Tempo de decaimento Inicial – EDT .....	120
• Definição – $D_{50}$ .....	121
• Clareza - $C_{80}$ .....	122
• Classificação de Curvas NC (Noise Criteria) .....	122
• Índice de Transmissão da Fala – STI (Speech Transmission Index) .....	123
6.6 Viabilidade de intervenção acústica dos ginásios de esportes multifuncionais ..	125
<b>Conclusões .....</b>	<b>131</b>

<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>135</b>
<b>Apêndice .....</b>	<b>145</b>
Apêndice A - Planilha de dados dos ginásios avaliados .....	145
Apêndice B - Tempo de reverberação em função da freqüência dos seis pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP .....	146
Apêndice C - Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência dos seis pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP .....	147
Apêndice D - Definição em função da freqüência dos seis pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP .....	148
Apêndice E - Clareza em função da freqüência dos seis pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP .....	149
Apêndice F - Nível de pressão sonora em bandas de freqüência de 1/1 oitava medidos em sete pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP .....	150
Apêndice G - Tempo de reverberação em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas .....	151
Apêndice H - Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas. ....	152
Apêndice I - Definição em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas .....	153
Apêndice J - Clareza em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas .....	154
Apêndice K - Nível de pressão sonora em bandas de freqüência de 1/1 oitava medidos em sete pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas .....	155
Apêndice L - Tempo de reverberação em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	156
Apêndice M - Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	157
Apêndice N - Definição em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	158
Apêndice O - Clareza em função da freqüência dos quinze pontos de medição do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	159
Apêndice P - Nível de pressão sonora em bandas de freqüência de 1/1 oitava medidos em nove pontos de medição do Ginásio do Clube Campineiro	

de Regatas ..... 160

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Tipologias de Ginásios de Esportes .....	07
Figura 2.2. Ginásio de Esportes do Ibirapuera, São Paulo .....	08
Figura 2.3. Ginásio de Esportes Mineirinho, Belo Horizonte .....	10
Figura 3.1. Tempo ótimo de reverberação para várias atividades na frequência de 500Hz .....	19
Figura 3.2. EDT .....	21
Figura 3.3. Valores das curvas NC em bandas de 1/1 oitava .....	24
Figura 3.4. Refletograma .....	28
Figura 4.1. Foto interna do Ginásio de Esportes do Minas Tênis Clube, Belo Horizonte	33
Figura 4.2. Planta Baixa e Corte do Ginásio Multidisciplinar de Xu Zhou, China .....	35
Figura 4.3. Planta Baixa e Corte do Ginásio de Esportes do Centro Nacional de Esportes Olímpicos .....	37
Figura 4.4. Planta Baixa e Corte do Ginásio de Natação do Centro Nacional de Esportes Olímpicos .....	39
Figura 5.1. Vista do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp, Ginásio Campineiro de Regatas e Natação e o Ginásio Tênis Clune de Campinas .....	46
Figura 5.2. Esquema de montagem do sistema que gera a resposta impulsiva no ginásio .....	50
Figura 5.3. Limites máximos e mínimos para o tempo de reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Marshall e Klepper .	53
Figura 5.4. Limites máximos e mínimos para o tempo de reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Egan .....	54
Figura 5.5. Limites máximos e mínimos para o tempo de reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Cooper .....	55
Figura 6.1. Foto aérea do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp .....	60

Figura 6.2. Interior do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp .....	61
Figura 6.3. Planta Baixa e Corte do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp .....	62
Figura 6.4. Tempo de Reverberação em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	65
Figura 6.5. Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	67
Figura 6.6. Definição em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	69
Figura 6.7. Clareza em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	72
Figura 6.8. Espectro Sonoro em função da freqüência para 7 pontos de medição ....	73
Figura 6.9. Espectro Sonoro máximo, médio e mínimo em função da freqüência .....	74
Figura 6.10. Foto aérea dos Ginásios de Esportes do Clube Regatas e Natação de Campinas .....	77
Figura 6.11. Interior do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação .....	78
Figura 6.12. Planta Baixa e Corte do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação .....	79
Figura 6.13. Tempo de Reverberação em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	82
Figura 6.14. Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	85
Figura 6.15. Definição em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	87
Figura 6.16. Clareza em função da freqüência para as diferentes posições de fontes ..	90
Figura 6.17. Espectro Sonoro em função da freqüência para 6 pontos de medição ....	91
Figura 6.18. Foto aérea dos Ginásios de Esportes do Tênis Clube de Campinas .....	95
Figura 6.19. Interior do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	96
Figura 6.20. Planta Baixa e Corte do Ginásio do Tênis Clube de Campinas .....	97
Figura 6.21. Tempo de Reverberação em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	99
Figura 6.22. Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	101
Figura 6.23. Definição em função da freqüência para as diferentes posições de fontes .....	103
Figura 6.24. Clareza em função da freqüência para as diferentes posições de fontes ..	105
Figura 6.25. Espectro Sonoro em função da freqüência para 9 pontos de medição ....	107

Figura 6.26. Cortes do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp com estudo de raios sonoros .....	113
Figura 6.27. Cortes do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação com estudo de raios sonoros .....	116
Figura 6.28. Cortes do Ginásio do Tênis Clube de Campinas com estudo de raios sonoros .....	118
Figura 6.29. Coeficiente de Absorção dos ginásios multifuncionais .....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Dimensões de Ginásios de Esportes .....	09
Tabela 3.1. Níveis de pressão sonora em dB correspondentes às curvas de avaliação (NC) .....	24
Tabela 3.2. Valores de STI e a qualidade da inteligibilidade da fala .....	26
Tabela 3.3. Escala e descrição da qualidade da inteligibilidade .....	26
Tabela 3.4. Valores de STI e %ALCons e a qualidade da inteligibilidade .....	27
Tabela 4.1. Tempo de Reverberação do Ginásio de Esportes antes do tratamento .....	35
Tabela 4.2. Tempo de Reverberação do Ginásio de Esportes depois do tratamento ...	36
Tabela 5.1. Valores de STI e %ALCons e a qualidade da inteligibilidade .....	56
Tabela 6.1. Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALCons) obtidos no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP	76
Tabela 6.2. Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALCons) obtidos no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas .....	93
Tabela 6.3. Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALC) obtidos no Ginásio do Tênis Clube de Campinas ..	108
Tabela 6.4. Dados para o calculo do "coeficiente de absorção" dos ginásios de esportes pela formula de Sabine .....	127

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1. Tempo de reverberação - equação de Sabine .....	17
Equação 3.2. Tempo de reverberação - equação de Eyring .....	18
Equação 3.3. Tempo de reverberação - equação de Millington e Sette .....	18
Equação 3.4. Definição (D50) .....	21
Equação 3.5. Clareza (C80) .....	22
Equação 3.6. % ALCons - Equação de Farrel Becker .....	26

## LISTA DE ABREVIATÖES

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**APO** – Avaliação Pós-Ocupação  
**B&K** – Brüel & Kjaer  
**C<sub>80</sub>** – Clareza  
**D<sub>50</sub>** – Definição  
**dB** - Decibel  
**dB(A)** - Decibel ponderação “A”  
**EDT** – Tempo de Decaimento Inicial  
**Hz** – Hertz  
**ISO** – International Organization for Standardization  
**IEC** - International Electrotechnical Commission  
**L<sub>eq</sub>** – Nível Equivalente Sonoro  
**LIT** - Sistemas lineares e invariantes no tempo  
**m** – metros  
**m<sup>2</sup>** - metros quadrados  
**m<sup>3</sup>** - metros cúbicos  
**MLS** – Maximum length sequence  
**NB** – Norma Brasileira  
**NBR** – Norma Brasileira  
**NC** – Nível de Critério  
**NPS** – Nível de Pressão Sonora  
**RI** – Resposta Impulsiva  
**s** – segundos  
**STI** - Índice de Transmissão da Fala  
**TR** – Tempo de reverberação

**UNICAMP** – Universidade Estadual de Campinas

**%ALCons** – Porcentagem de consoantes não compreendidas

## **1. INTRODUÇÃO**

As edificações do período da Grécia e Roma Antiga (aproximadamente século VIII a.C) possuíam qualidades acústicas excepcionais sem as tecnologias do dias atuais. Algumas das características destes ambientes foram resgatadas por alguns espaços, principalmente pelos teatros renascentistas, refletindo um importante momento para a acústica arquitetônica (SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2003). Desde os tempos antigos, já se observava uma preocupação com a acústica no projeto arquitetônico.

Com o passar dos tempos, questões relativas à acústica arquitetônica vêm sendo alvo de estudos por pesquisadores e profissionais que se preocupam com o comportamento do som em ambientes internos. Estes pesquisadores e profissionais utilizam a acústica como mais uma ferramenta de trabalho em projetos arquitetônicos.

É fundamental que a acústica seja considerada como uma das ferramentas de projetos arquitetônicos e de execução, unindo a harmonia das exigências acústicas com outros requisitos de conforto e de estética (PRADO, 1963). As condições acústicas adequadas para uma edificação dependem das características técnico/construtivas e das atividades (função) nela desenvolvidas. Nos centros urbanos, a forma de apropriação do solo urbano, a diversidade e a concentração de usos e de atividades expõem os indivíduos com mais frequência ao ruído. A exposição a esses ruídos é objeto de estudo visto a considerável elevação dos níveis sonoros nos últimos anos (RUSSO, 1999 apud FREITAS, 2005).

As propriedades e características do som, o comportamento das fachadas, a escolha e aplicação de materiais de revestimento na superfície interna e na estrutura de sustentação da edificação são alguns exemplos de preocupações acústicas projetuais (SILVA, 1997; BATISTA; SLAMA, 1998; FREITAS, 2005). Deve-se levar em conta também o ruído gerado pelo tráfego de automóveis e aéreos, e a capacidade de isolamento sonoro da edificação para o controle do ruído; o emprego da vegetação, de aberturas e de barreiras quanto a sua capacidade de absorção para o condicionamento acústico dos recintos urbanos. (FREITAS, 2005).

O controle do ruído (isolamento) e o condicionamento acústico são aspectos importantes e trabalhados por profissionais especializados. O condicionamento dos ambientes ocorre onde a propagação sonora precisa de uma qualidade, aproveitando-se as emissões originais e dispensando-se as reflexões desnecessárias. O isolamento ocorre, sobretudo, no caso de ambientes com atividades distintas não sofrerem interferência do ruído externo. Pode-se isolar um ambiente através da massa construída, tanto quanto pelo distanciamento de diferentes zonas acústicas (FREITAS, 2005).

No que concerne ao desempenho acústico dos diversos ambientes são encontrados estudos voltados para salas de aula, estúdios, academias, escritórios, empresas, ginásios de esportes e estádios de futebol (SILVA, 1997; KNUDSEN e HARRIS, 1988; MEHTA et al, 1999; SMITH, 2002; GERGES, 2000). Vale ressaltar as considerações de Richter (1962 apud BATISTA; SLAMA, 1998) em publicação para o Instituto Brasileiro de Acústica quanto ao desconhecimento dos problemas acústicos nas diversas tipologias:

*“Os arquitetos e profissionais da área sabem que terão problemas acústicos na sala de concertos, no cinema, teatro, ou auditórios. Poucos, entretanto, se apercebem da importância do problema acústico na escola, hospital, edifícios de escritórios ou apartamentos. Sem boa acústica, o edifício não pode ser considerado obra de boa qualidade”.*

O espaço edificado pode ser considerado uma fonte de ruído quando as atividades que abriga são de natureza ruidosa, ou um receptor de ruído do espaço urbano. Pouco conhecimento em projetos acústicos, em técnicas construtivas e em características funcionais de materiais construtivos, pode proporcionar um ambiente que não ofereça condições térmicas, luminosas e acústicas adequadas. O conforto ambiental deve fazer parte do projeto arquitetônico, da edificação e da vida de seus usuários, destacando-se como elemento essencial para garantir a saúde e o bem estar do usuário.

Os ginásios de esportes estão perdendo sua função original do passado, a de um "espaço onde se praticam ginástica e atividades esportivas" (FERREIRA, 1977). Os ginásios estão deixando de ser ambientes utilizados para lazer esportivo e tornando-se uma edificação para múltiplo-uso. Nesses casos, em geral, permanece a forma externa e altera-se a tipologia, a estrutura e a forma interna da edificação, como é o caso de alguns ginásios brasileiros importantes: o Ginásio do Ibirapuera em São Paulo, o Ginásio do Mineirinho em Belo Horizonte o Ginásio Maracanãzinho e a Arena Multiuso no Rio de Janeiro, entre outros espalhados pelo mundo. Todavia, os ginásios e estádios de esportes estão sendo conhecidos como Arenas Multidisciplinares devido às atividades neles apresentadas.

Nos ginásios de esportes são desenvolvidas atividades como jogos de basquete, futebol, vôlei, atividades musicais, palestras, apresentações teatrais, e, para tanto, é importante que o mesmo esteja apto a cumprir aos requisitos acústicos adequados para essas atividades. Como a qualidade acústica depende fortemente do tipo de uso ao qual se destina o ambiente, torna-se muito difícil adequá-lo para várias funções (KNUDSEN e HARRIS, 1988). Em regra, os ginásios de esportes atendem a função de lazer quanto aos aspectos esportivos, mas apresentam deficiências quanto aos aspectos acústicos. No caso de ambientes múltiplos-usos é necessário que a acústica do ambiente seja ajustável a cada tipo de evento que estiver sendo apresentado. Assim

como nos teatros e auditórios de múltiplos usos (multifuncionais), os ginásios também devem proporcionar ao ouvinte uma acústica adequada.

A intervenção do profissional em acústica, depois de construída uma edificação, além de não permitir soluções tão eficazes como as obtidas no estudo preliminar do projeto, encarecem consideravelmente o orçamento das construções (DE MARCO, 1982). Projetos de ginásios de esportes, que tiveram projeto acústico especializado, ainda são minoria no mundo todo.

O objetivo nesta pesquisa é buscar a caracterização acústica de alguns ginásios de esportes multifuncionais, quanto à tipologia, volumetria, capacidade de absorção e isolamento, de forma a contribuir para a utilização futura de projetos de edificação com qualidade acústica. Para esse trabalho foram escolhidos três ginásios de esportes da cidade de Campinas, SP, com tipologias diferenciadas. Para tanto, foram analisadas e avaliadas às edificações, o ruído de fundo na área interna, o tempo de reverberação, o seu isolamento (fonte/receptor) entre outros parâmetros acústicos. Por meio da análise dos resultados, foi possível caracterizar acusticamente cada edificação, estabelecendo indicativos favoráveis e desfavoráveis de projeto para uma boa acústica.

Esta pesquisa não pretende classificar os espaços indicando o melhor ou o pior entre as tipologias, mas contribuir para uma discussão de qualidade dos ginásios de esportes de Campinas, identificando quais as características construtivas e de projeto que corroboram com a qualidade acústica dos ambientes.

## **2. ARQUITETURA DE GINÁSIOS DE ESPORTES**

Os ginásios da Grécia Antiga funcionavam como um lugar de treinamento de competidores para jogos públicos. Era também um lugar para se socializar e passar o tempo. A origem do nome ginásio vem do grego “gymnos” que significa despido, nu. Os atletas competiam nus, uma prática para incentivar a apreciação estética do corpo masculino ou feminino. O ginásio era conhecido com “um lugar para se despir” (HOOPER, 1911).

Com o passar do tempo, a etimologia da palavra ginásio passou de “lugar para se despir” para “lugar para exercícios”. Historicamente, os ginásios eram usados para atividades esportivas, banhos e pensamentos eruditos e filosóficos. Entretanto, foi formado como uma instituição pública, onde meninos recebiam treinamento de exercícios físicos. Suas organizações e construções foram projetadas para servir a essa finalidade, embora alguns ginásios fossem utilizados também para outras funções como luta greco-romana, boxe e jogos com bolas (HOOPER, 1911).

Os ginásios eram tipicamente grandes edificações com espaços destinados a cada tipo de exercício, como a arena, salas de banhos, salas para estudos e outras salas onde os filósofos e professores lecionassem e ajudassem em questões sobre o universo. Antigamente todos os ginásios atenienses eram situados fora dos muros da cidade devido à grande quantidade de espaço requerida para sua construção. Na cidade de Roma os primeiros ginásios públicos construídos fora dos muros da cidade foi erguido por Nero no século I d.C e mais tarde outro ginásio foi construído no século II d.C por Commodus. (HOOPER, 1911).

## **2.1 Características construtivas e funcionais de Ginásios de Esportes.**

Desde os tempos de Vitruvius, no século I a.C, já se sabiam que as edificações tinham necessidades de adequação ambiental para se chegar com eficiência, desempenho e economia ao melhor resultado arquitetônico e urbano (FREITAS, 2005).

Hodiernamente, a concepção arquitetônica dos ginásios de esportes é, geralmente, voltada para o seu interior, com a presença de grandes vãos cobertos em estruturas metálicas e iluminação zenital, trazendo a luz natural para o interior.

Os primeiros ginásios de esportes construídos no Brasil tinham como característica principal o conceito de “uma obra duradoura”. Devido a essa concepção e à utilização de materiais disponíveis na época, os ginásios se apresentaram como obras “duras, pesadas e rígidas”. Atualizações tecnológicas, novos materiais e concepções arquitetônicas modificaram conceitualmente e estruturalmente as edificações. Essa mudança implicou na utilização de materiais leves, estruturas esbeltas, revestimentos simples e delicados, e também em sua forma plástica (BRUAND, 2005).

Essas edificações que se assemelham em seu aspecto construtivo e conceitual, no entanto, se diferenciam em sua forma e funcionalidade. Em busca de uma melhor plasticidade ao projeto arquitetônico, profissionais procuram variar a cobertura quanto à forma (plana, abobadada, semicircular, elíptica e esférica) e aos materiais (metálica, cimento amianto, policarbonato, fibra, cerâmica). Variam também a disposição dos ambientes, os tipos de materiais de revestimento interno e estruturais (alvenaria estrutural, concreto armado, metálica e madeira), conforme mostra a figura 2.1 (BRUAND, 2005).



**Figura 2.1 – Tipologias de Ginásios de Esportes.**

As estruturas metálicas são muito utilizadas em edificações de grande porte, pela rapidez de montagem, economia de fundações, plasticidade e capacidade de se vencerem grandes vãos e balanços. Estas tornam as edificações leves e permitem a conciliação da estética com a estrutura. A descoberta da plasticidade do concreto aparente, no início do século XX, permitiu que arquitetos, tal como Ícaro de Castro Mello, explorassem e tomassem como partido arquitetônico essa plasticidade em seus projetos de ginásios de esportes. Dentre as obras de Ícaro de Castro Mello, arquiteto especializado em arquitetura esportiva, destacam-se a piscina coberta, construída no bairro da Água Branca em São Paulo (1951 – 1953) e o Ginásio do Ibirapuera (1952-1954) em São Paulo, cuja foto externa é mostrada na figura 2.2 (BRUAND, 2005).



**Figura 2.2 – Ginásio de Esportes do Ibirapuera, São Paulo.**

Os ginásios de esporte podem ser divididos em públicos e/ou privados. Os públicos, como é o caso das escolas publicas, seguem programas construtivos bem definidos e são considerados de pequeno a médio porte. A diversidade de funções desses ambientes públicos requer soluções que variam conforme a disponibilidade de verbas. Nos ginásios privados, as tipologias são variáveis, com maior liberdade de construção, podendo seguir ou não padrões construtivos e variam de pequeno à grande porte. Segundo Rychtáriková, et al (2004), os projetos de ginásios públicos e privados não levam em consideração, na sua maioria, a questão do conforto acústico associado ao projeto arquitetônico. Neufert (1996) apresenta quatro distinções de ginásios quanto a sua volumetria, conforme indica a tabela 2.1.

**Tabela 2.1 – Dimensões de Ginásios de Esportes.**

<b>Tipos de Ginásios</b>	<b>Medidas Interiores (m)</b>	<b>Área útil (m<sup>2</sup>)</b>
Ginásios Pequenos Escolas Oficiais	10 x 18 x 5,5	180
Ginásios Médios Escolas Oficiais	12 x 24 x 5,55 14 x 28 x 5,55	288 392
Ginásios Grandes	18 x 30 x 6 18 x 33 x 6	540 594
Salas de jogos e esportes	≥ 21 x 42 x 7	882

[Fonte: traduzido do NEUFERT, 1996]

O conceito mais moderno para ginásios de esporte é o de arena multidisciplinar, destinada tanto para a função esportiva como para conferências, congressos, palestras, festas, formaturas, feiras, teatros, shows e outros eventos. Um exemplo da importância deste conceito está na concepção do Ginásio de Esportes Jornalista Felipe Drumond de 1980, popularmente conhecido como Ginásio do Mineirinho em Belo Horizonte, MG, cuja foto externa é apresentada na figura 2.3. O ginásio foi preparado com palco, grandes vestiários, salas para multiusos e outras acomodações. Pelas suas características e dimensões o ginásio de esportes pode receber as mais diversas atividades com capacidade para milhares de pessoas.



**Figura 2.3 – Ginásio de Esportes Mineirinho, Belo Horizonte.**

As arenas multidisciplinares devem possuir flexibilidade para as várias funcionalidades, como o uso de arquibancadas, palcos e pisos móveis, coberturas retráteis, placares eletrônicos inovadores, como alternativa para permitir que um grande “show” funcione na mesma edificação que um evento esportivo (ajuste o TR)

As funcionalidades dos ginásios estão bastante relacionadas à cultura e aos costumes de uma sociedade, ou melhor, relacionados à cultura esportiva de uma população. No Brasil os ginásios são utilizados para esportes como futebol, vôlei, handebol e basquete primordialmente. Nos Estados Unidos os ginásios culturalmente são utilizados para a prática de patinação no gelo, hóquei e basquete. Na Rússia os ginásios são utilizados para ginástica olímpica e danças.

Os ginásios, não são compostos apenas de quadras e arquibancadas, outros ambientes podem ser encontrados no seu interior: como sanitários públicos, vestiários de atletas, bares, sala de fisioterapia, consultório médico, academia de ginástica, salas de aula, salas para árbitros e técnicos, área para imprensa, depósito para materiais esportivos, centros administrativos e dormitórios. Este programa de necessidades varia

muito. Segundo alguns profissionais, além de considerar o programa apresentado pelo cliente e todas as normas para instalações esportivas, é fundamental ouvir os usuários como atletas, professores de educação física, técnicos e dirigentes esportivos, a fim de conhecer suas necessidades e expectativas (CORBIOLI, 2000).

Segundo Ícaro de Castro Mello, independentemente do porte e do tipo do empreendimento, a boa arquitetura esportiva é aquela que modela o espaço considerando todas as particularidades. O profissional deve buscar exemplos em edificações semelhantes, atentando-se ao projeto, aos materiais, aos cuidados com conforto e segurança. A consultoria de especialistas em ar condicionado, acústica e luminotécnica, dentre outros, é fator primordial de acordo com o arquiteto (CORBIOLI, 2000).

Neufert (1996) faz algumas recomendações de projeto para ginásios expostos usando a qualidade acústica como as dimensões regulamentadas para quadras de mínimo de 20 m x 40 m, mais 2,5m de distância entre as paredes dos fundos e as laterais. O tamanho do local deverá ter uma relação “altura: largura: comprimento” de 2: 3: 5, para que haja harmonia no desempenho da qualidade acústica. As plantas de forma quadrada, circular, oval etc, são desfavoráveis, assim como as grandes superfícies côncavas (cúpulas, abóbadas, etc) pela sua ação focal. As plantas retangulares e a trapezoidais alongadas são as mais favoráveis para a acústica;

No Brasil, no que se refere ao tratamento acústico dos ambientes, são muitos ginásios de esportes com baixa qualidade acústica.

### **3. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE AMBIENTES**

O projeto arquitetônico juntamente com parâmetros de conforto ambiental oferece edificações com qualidade, atendendo o homem nas suas necessidades fundamentais como saúde, lazer, trabalho, religião, educação e habitação. O espaço edificado pode ser considerado uma fonte de ruído quando as atividades nele desenvolvidas são de natureza ruidosa, e também como receptor dos ruídos do espaço urbano. Seja qual for a função ou atividade, à qual este ambiente se proponha, deverá estar preparado para condicionar os sons internos e/ou isolar os externos. (BATISTA, 1998). Há casos, em que a edificação é construída em lugares onde inicialmente não existem fontes de ruídos exteriores, e com as modificações ambientais e crescimento do espaço urbano passam a existir. Segundo Batista e Slama (1998) a intervenção nesses casos será corretiva.

A acústica arquitetônica é um aspecto muito importante dentro da elaboração de um projeto arquitetônico. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a exigência da sociedade com o bem estar e a saúde, a acústica e o projeto arquitetônicos estão cada vez mais interligadas com o objetivo de buscar a qualidade da edificação. A maioria dos problemas de ordem acústica nas edificações poderia ser solucionada durante a fase preliminar de projeto arquitetônico. É de extrema importância que profissionais conheçam o funcionamento do edifício e os princípios da acústica arquitetônica. Identificar as fontes de ruído, conhecer as características de absorção e isolamento dos materiais e usar a percepção natural do arquiteto para projetar de forma adequada e econômica evitam problemas futuros (BATISTA; SLAMA, 1998).

*“Sempre que tratamos dos problemas do Conforto Ambiental na Arquitetura, uma preocupação deve, a todo o momento, estar presente – a relação existente entre as distintas áreas que o compõem, ou seja, como ocorre a interdependência entre Iluminação, Conforto Térmico, Ventilação e Acústica, no ato de projetar. Como sabemos, o conforto é composto por uma série de variáveis que mantêm constantemente uma relação de causa e efeito entre si, ou seja, na totalidade dos casos, qualquer interferência em uma delas afeta diretamente as outras”. (SOLANO VIANNA e GONÇALVES, 2001, p.232).*

Recentes observações (SILVA, 1997; SINGER, 2003; SMITH, 2002) sobre o comportamento do som em diversos ambientes, como auditórios, teatros, escolas e conchas acústicas, trouxeram mais uma vez à tona a importância da relação entre Acústica e Arquitetura. Tal relação, segundo Silva (1997), se dá na pluralidade do melhor aproveitamento do espaço, quando se busca a qualidade em sua ocupação. Isto é proporcionado pela forma geométrica, dimensões e funcionalidade, associada ao conforto, ao prazer e à preservação da saúde na vivência de sua ocupação. Para tanto, através da aplicação correta dos conceitos de Acústica Arquitetônica na observação da finalidade ao qual o projeto se destina, é possível criar projetos de edificações acusticamente adequados.

Segundo Kusakawa e Viveiros (2002), em uma pesquisa desenvolvida sobre shopping centers, nota-se a preocupação por partes de empreendedores, em idealizar projetos arquitetônicos arrojados no que diz respeito à iluminação, cores e programas visuais. Porém, pouca ou nenhuma atenção tem sido dada ao campo sonoro desses ambientes e, menos ainda, às consequências do ruído ocupacional e recreacional gerados pela concepção, inadequada do projeto arquitetônico. Essa concepção inadequada pode ocorrer também nos ginásios de esportes, pela semelhança em alguns aspectos como quantidade de usuários e principalmente do lazer (conforto) buscado por eles.

A preocupação de pesquisadores e instituições a respeito do desempenho do ambiente construído conscientizou muitos profissionais sobre a qualidade do ambiente, seja em relação aos parâmetros acústicos, térmicos ou luminosos. Não obstante, ainda existem ambientes sem projeto acústico específico à função. Conseqüentemente o estudo de edificações já construídas é de grande importância para profissionais da área para obter exemplos bons a serem seguidos e ruins a serem evitados.

Muitos profissionais que efetuam medições para avaliação de desempenho acústico de um determinado ambiente utilizam apenas os parâmetros acústicos, nível de pressão sonora (NPS) e tempo de reverberação (TR). Segundo Granado (2002) estes parâmetros são índices básicos para a avaliação da adequação acústica de determinado espaço para a palavra falada, porém outros parâmetros acústicos como  $C_{80}$  (clareza),  $D_{50}$  (definição) e STI (Índice de Transmissão da Fala) têm sido identificados como altamente relevantes (VIVEIROS, 1995).

As características construtivas de uma edificação e os parâmetros acústicos obtidos por medições *in loco* refletem o comportamento do som no ambiente. Esse tipo de análise é considerada objetiva. A qualidade acústica também pode ser avaliada de forma subjetiva utilizando os usuários para aplicar questionários e testes de inteligibilidade. Por meio dos resultados da análise objetiva e subjetiva é feita a caracterização da qualidade acústica do ambiente.

### **3.1 Fundamentação teórica**

Existem vários parâmetros acústicos que são usados para avaliar o desempenho acústico de ambientes. Entre esses parâmetros acústicos foram escolhidos: o tempo de reverberação (TR), o tempo de decaimento inicial (EDT), a definição ( $D_{50}$ ), a clareza ( $C_{80}$ ), o espectro sonoro em dB, o nível de pressão sonora global (NPS) em dB(A) e a classificação segundo as curvas NC da norma NBR 10152 (ABNT,2000).

### 3.1.1. Tempo de Reverberação - TR

Quando uma fonte gera um sinal sonoro dentro de um ambiente fechado, a intensidade sonora começa a crescer rapidamente com a chegada do som direto e continuará crescendo com as reflexões indiretas que começam a contribuir para o nível sonoro total. Se uma fonte sonora é repentinamente desligada, a intensidade sonora não desaparecerá de repente, mas vai enfraquecendo gradualmente. A persistência do som em um espaço fechado, resultante das múltiplas reflexões destes sons nas paredes e pertences da sala é denominado de reverberação (SILVA, 1983). A reverberação, perceptível ou não, está presente em todos os ambientes e afeta os sinais transmitidos, tanto na fala quanto na música (KUTTRUFF, 2000a).

A reverberação é estimada pelo tempo de reverberação (TR) que é definido como o tempo necessário para que o nível de pressão sonora caia de 60 dB dentro de um ambiente, depois de desligada a fonte (BISTAFA, 2005). A reverberação é produzida pelas reflexões de sons em superfícies que dispersam o som, enriquecendo-o por sobreposição de suas reflexões. Este é certamente uma das medidas mais importantes para analisar a qualidade acústica e a inteligibilidade de ambientes fechados (SILVA, 1983; MEHTA et al, 1999; SMITH, 2002; GERGES, 2000).

Reverberação é uma diminuição exponencial dos modos vibracionais excitados inicialmente, é uma das mais importantes grandezas da Acústica de Ambientes (BERTOLI e GOMES, 2005). Está presente em todos os ambientes e afeta os sinais transmitidos, tanto na fala quanto na música (KUTTRUFF, 2000b).

Segundo Júnior (2008), a qualidade sonora dos ambientes em geral decorre, principalmente, de seu tempo de reverberação que, diferentemente de outros parâmetros utilizados na avaliação acústica da edificação, tende a ser uniforme em todo o ambiente, isto é, independe da posição do ouvinte.

O tempo de reverberação pode ser obtido por dois métodos: o método de fonte interrompida e pela técnica de resposta impulsiva. Pela medição da resposta impulsiva, obtém-se a curva de decaimento energético medida com os equipamentos de medição apropriados. Geralmente o tempo de reverberação é medido em função da frequência em bandas de 1/1 oitava. O tempo de reverberação é considerado o parâmetro mais relevante na avaliação acústica de um ambiente (VIVEIRO, 1995).

Sabine (1964 apud MEHTA et al. 1999) obteve a relação entre tempo de reverberação e os parâmetros geométricos da sala. A equação de Sabine (equação 3.1) indica que o cálculo do tempo de reverberação (TR) é função de dois parâmetros: a absorção ( $A_n$ ) e o volume da sala (V). A absorção da sala é determinada pelo produto da área de materiais que recobrem as superfícies do ambiente pelos seus respectivos coeficientes de absorção sonora ( $\alpha$ ).

$$TR = \frac{0.16 V}{A_n} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Onde,

TR = Tempo de Reverberação (s),

V = volume da sala ( $m^3$ ),

$A_n = \sum \alpha_n \cdot S_n$ , absorção total na sala,

$\alpha_n$  = coeficiente de absorção,

$S_n$  = área ( $m^2$ ).

Existem algumas restrições para o uso da equação de Sabine quando os ambientes possuem absorção grande, e a média dos coeficientes de absorção dos materiais é superior a 0,2. Para essas situações (salas mortas) a equação de Eyring é mais apropriada pois associa a absorção ao logaritmo neperiano (ln) dos coeficientes de absorção como está mostrada na equação 3.2.

$$TR = \frac{0.16 V}{-S \ln (1-\alpha_m)} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde,

TR = Tempo de Reverberação (s),

V = volume da sala (m<sup>3</sup>),

S = área total das superfícies dos materiais (m<sup>2</sup>),

$\alpha_m$  = média dos coeficientes de absorção.

A limitação da equação de Eyring é levar em conta a média dos coeficientes de absorção ( $\alpha_m$ ). Mais precisa para o cálculo do tempo de reverberação é a equação de Millington e Sette que leva em conta a relação logarítmica e os coeficientes de absorção individuais de cada material como é mostrado na equação 3.3.

$$TR = \frac{0.16 V}{-\sum S_i \ln (1-\alpha_i)} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde,

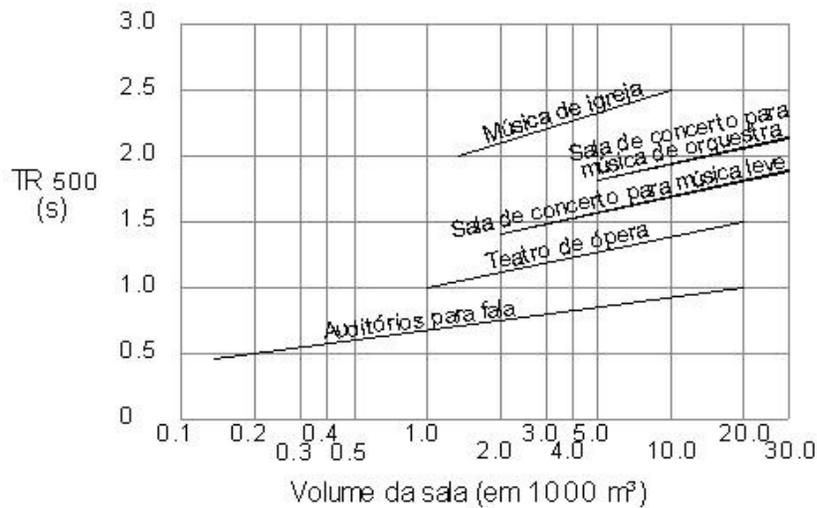
TR = Tempo de Reverberação (s),

V = volume da sala (m<sup>3</sup>),

$S_i$  = área da superfície de cada material (m<sup>2</sup>),

$\alpha_i$  = coeficiente de absorção sonora de cada material.

O tempo de reverberação adequado para um ambiente é conhecido como tempo ótimo de reverberação e depende do uso e do volume da sala. É um valor muito útil no momento de projetar e adequar à acústica do ambiente, pois indica para cada uso e volume do ambiente qual o tempo de reverberação ideal e conseqüentemente permite especificar a quantidade de absorção interna. A figura 3.1 mostra, para a frequência de 500 Hz, o tempo ótimo de reverberação ( $TR_{500}$ ) adequado para alguns tipos de ambientes em função do volume.



**Figura 3.1 - Tempo ótimo de reverberação para várias atividades na frequência de 500Hz.**

[Fonte: traduzida de MEHTA et al, 1999]

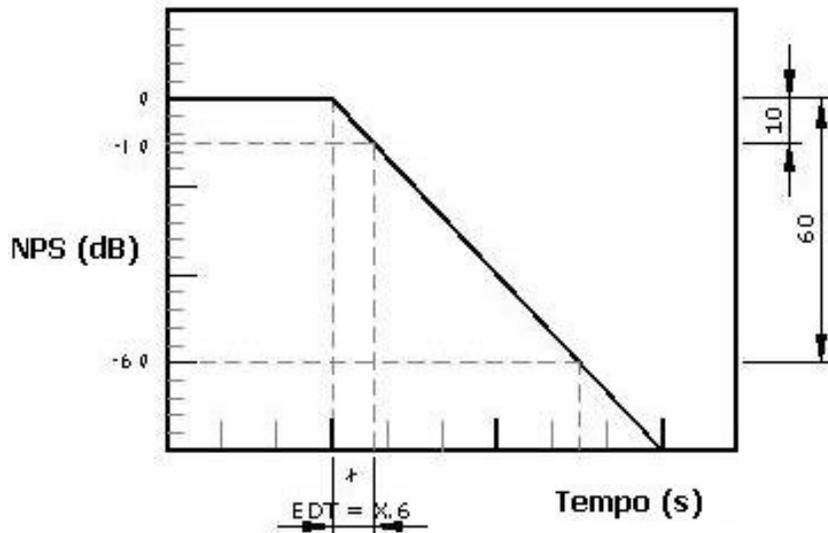
Segundo Irvine e Richards (1990), o tempo de reverberação típico para um ginásio de esporte pequeno não deve ser maior que 1.0s e para ginásios grandes não deve ultrapassar 1,5s. Apesar de não encontrar normas específicas para auxiliar no tratamento acústico de pequenos a grandes ginásios de esportes, algumas recomendações de outros ambientes, que apresentam similaridade com ginásios, poderão ser seguidas pela norma brasileira NB101 (ABNT, 1988).

A norma brasileira a NB101 - Tratamento Acústico em Recintos Fechados da ABNT tem como objetivo estabelecer o tratamento e o condicionamento acústico dos ambientes. Segundo essa norma, o tratamento acústico é o modo pelo qual se procura dar aos ambientes boas condições de clareza e inteligibilidade, de acordo com as atividades desenvolvidas em cada um deles. O condicionamento acústico é o modo onde se procura garantir a boa distribuição do som e também o tempo ótimo de reverberação (ABNT, 1988).

A norma NB101 (ABNT, 1988) traz um gráfico semelhante ao modelo apresentado na figura 3.1, mostrando os valores de tempo ótimo de reverberação em função do volume de acordo com a atividade nele desenvolvida. A indicação na norma que mais se assemelha ao ginásio de esportes, quando a atividade é a fala, seria o auditório.

### **3.1.2. Tempo de Decaimento Inicial – EDT**

O tempo associado a primeira parte do decaimento sonoro relativo aos primeiros 10 dB, depois de cessada a fonte sonora é chamado de tempo de decaimento sonoro inicial, EDT (Early Decay Time). O parâmetro EDT representa a sensação sonora da reverberação no ambiente. Numericamente é o tempo requerido para que um som decaia os primeiros 10 dB após a fonte parar de emití-lo e pode ser obtido como na figura 3.2. Para comparar esse tempo com o tempo de reverberação, ele é multiplicado por 6 (seis) (LAZZARINNI, 1998; BRÜEL & KJAER, 2003; BISTAFÀ, 2005, MEHTA et al., 1999). Quanto mais próximos os valores de EDT estão de TR, mais próxima é a sensação de reverberância da realidade. Os valores de EDT são obtidos pela técnica de resposta impulsiva. Assim como o TR, o EDT é medido em segundos.



**Figura 3.2 - EDT**

[Fonte: adaptada de MEHTA et al, 1999]

### 3.1.3. Definição – $D_{50}$

Definição ( $D_{50}$ ) é a razão entre a energia que chega ao receptor nos primeiros 50ms e a energia total (ISO 3382, 1997). As reflexões que chegam ao ouvido do ouvinte nos primeiros 50ms são integradas com o som direto, amplificando o seu nível e melhorando a inteligibilidade da fala. As reflexões às quais chegam, depois do período de integração, mascaram o som subsequente (SALA e VILJANEN, 1995). A definição é um parâmetro acústico associado à inteligibilidade da fala, sendo calculada a partir da resposta impulsiva através da equação 4.4. (BISTAFA, 2005):

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

A definição é um parâmetro bastante usado na avaliação acústica de auditórios e salas de conferências onde a qualidade no entendimento da fala é fundamental. Este

parâmetro acústico foi pouco utilizado por pesquisadores e profissionais de acústica em medições de ginásios de esportes.

### 3.1.4. Clareza – $C_{80}$

A Clareza ( $C_{80}$ ) é o logaritmo de razão da energia chegada nos primeiros 80ms e a energia sonora total, dada em dB (ISO 3382, 1997). A clareza é um parâmetro acústico associado à música e tem sido usada para caracterizar a qualidade acústica de salas de concerto. As reflexões úteis são aquelas que atingem o ouvinte até 80ms após o som direto. É calculada a partir da técnica de resposta impulsiva através da equação 3.5 (BISTAFA, 2005; BRÜEL & KJAER, 2003a):

$$C_{80} = 10 \log \left[ \frac{\int_0^{80\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right], \text{ em dB} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Segundo Mehta et al (1999) o  $C_{80}=1$  é considerado valor suficiente, enquanto  $C_{80} = -4$  é considerado o valor mínimo admissível para ambientes de música. Para o parâmetro, recomenda-se que os valores de comparação atendam a faixa de -4 a +4 para que se tenha acusticamente um resultado adequado (BERANEK, 1996).

### 3.1.5. Espectro Sonoro

O comportamento do som em função de frequência é chamado de espectro sonoro. As faixas de frequências são padronizada e denominada de bandas de frequência. Cada faixa de frequência é descrita pela sua frequência central. As frequências centrais das bandas de 1/1 oitava são 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000Hz.

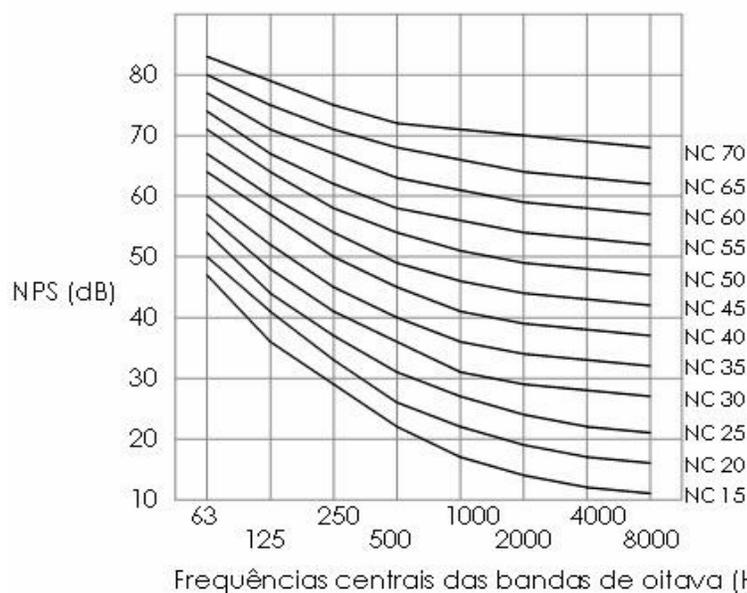
A percepção sonora humana depende da frequência e do nível de pressão sonora. Os sons em altas frequências (>2000 Hz) geralmente incomodam mais que os sons em média ou baixas frequências porque o ouvido humano é menos sensível a essas faixas de frequências (MEHTA et al, 1999).

Os níveis de pressão sonora, medidos em dB, podem ser corrigidos levando em conta a percepção auditiva humana. A correção é feita com base nas curvas de ponderação em frequência. Para fins de conforto, usa-se a curva “A” de ponderação em frequência e os níveis de pressão sonora corrigidos são então denominados de dB(A).

A caracterização acústica do ruído de fundo de um ambiente, em geral, é feita em dB(A), mas muitas vezes é necessário medir o espectro do ruído de fundo para obter maiores informações sobre a distribuição dos níveis de pressão sonora nas diferentes frequências.

### **3.1.6. Classificação de Curvas NC**

As curvas de NC (Noise Criteria) foram publicadas pela primeira vez por Beranek em 1957 (TOCCI, 2000). A classificação de curvas NC foi baseada nas curvas de audibilidade do ouvido humano, cujo comportamento tende a atenuar as baixas frequências e amplificar as altas frequências. Esta classificação é utilizada para avaliar, com um único valor, a percepção sonora do nível de pressão sonora de um determinado ambiente, levando em consideração as variações em frequências. Os valores de NC são obtidos comparando o espectro do ruído de fundo em função do local medido em bandas de 1/1 oitava (125Hz a 8000Hz) e com as curvas NC indicadas na figura 3.3. Esse critério é também indicado pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987) para caracterização do ruído de fundo de um ambiente. A figura 3.3 apresenta o conjunto de curvas NC e a tabela 3.1 indica os valores de nível de pressão sonora (NPS) em função da frequência para cada curva NC.



**Figura 3.3 - Valores das curvas NC em bandas de 1/1 oitava.**

[Fonte: adaptada de MEHTA et al, 1999]

**Tabela 3.1 - Níveis de pressão sonora em dB correspondentes às curvas de avaliação (NC).**

Curva	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
<b>15</b>	47	36	29	22	17	14	12	11
<b>20</b>	50	41	33	26	22	19	17	16
<b>25</b>	54	44	37	31	27	24	22	21
<b>30</b>	57	48	41	36	31	29	28	27
<b>35</b>	60	52	45	40	36	34	33	32
<b>40</b>	64	57	50	45	41	39	38	37
<b>45</b>	67	60	54	49	46	44	43	42
<b>50</b>	71	64	58	54	51	49	48	47
<b>55</b>	74	67	62	58	56	54	53	52
<b>60</b>	77	71	67	63	61	59	58	57
<b>65</b>	80	75	71	68	66	64	63	62
<b>70</b>	83	79	75	72	71	70	69	68

[Fonte: adaptada da NBR 10152 (1987)]

A norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987) utiliza o parâmetro NC para indicar os valores de nível de ruído de fundo compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Os valores recomendados nessa norma para locais como

pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas são: nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) entre 45 e 60 dB(A) e nível de critério (NC) entre 40 e 55. O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para o conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Os níveis superiores aos estabelecidos são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde (ABNT, 1987).

### **3.1.7. Índice de Transmissão da Fala – STI**

O índice de transmissão da fala, STI (Speech Transmission Index) é um dos parâmetros mais importantes para a avaliação da inteligibilidade da fala em lugares públicos. Dos múltiplos parâmetros acústicos objetivos, os quais podem ser coletados mediante simulação e medição acústica é o STI. Esse parâmetro se popularizou nas últimas três décadas e foi introduzido em normas e regulamentos de vários países (MÜLLER, 2005).

O índice de transmissão da fala (STI) é o parâmetro relacionado à qualidade acústica e a inteligibilidade da voz humana em espaços, onde é primordial que um locutor seja ouvido e entendido por todas as pessoas presentes (por exemplo, auditórios, salas de aulas, estádios, ginásios multifuncionais, igrejas, aeroportos, ferroviárias, rodoviárias etc.) (MÜLLER, 2005, ISO 3382, 1997). Ele representa a qualidade da transmissão da fala com respeito a inteligibilidade (IEC 60268-16, 2003).

O STI é obtido através da técnica de resposta impulsiva. Seu cálculo leva em conta a reverberação e o ruído de fundo do ambiente (MÜLLER, 2005). A inteligibilidade da fala para um mesmo ambiente pode variar se a fonte sonora é masculina e feminina. O resultado de STI é um índice de fácil interpretação, que varia entre 0 (fala completamente ininteligível) e 1 (excelente inteligibilidade) (ISO 3382, 1997). A tabela 3.2 mostra os valores de STI e a tabela 3.3 mostra a escala e descrição da qualidade da inteligibilidade no ambiente.

**Tabela 3.2 - Valores de STI e a qualidade da inteligibilidade da fala.**

<b>STI</b>	<b>INTELIGIBILIDADE</b>
0.00 - 0.30	Ruim
0.30 - 0.45	Pobre
0.45 - 0.60	Aceitável
0.60 - 0.75	Bom
0.75 - 1.00	Excelente

[Fonte: adaptado de BRÜEL & KJAER, 2003a]

**Tabela 3.3 – Escala e descrição da qualidade da inteligibilidade.**

<b>Qualidade da sala</b>	<b>Descrição da qualidade</b>
Excelente	Percepção muito boa sem qualquer esforço para ouvir
Bom	Percepção boa; compreensão fácil das palavras
Aceitável	Compreensão é difícil; é necessário algum esforço para ouvir
Pobre	O ouvinte apresenta dificuldade para compreender e reconstruir palavras e sentenças
Ruim	Impossível entender, portanto para reconstruir palavras e sentenças (simplesmente regular)

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998]

### **3.1.8. Porcentagem de Consoantes não Compreendidas - %Alcons.**

O parâmetro % ALC (também chamada % Alcons) avalia a quantidade de consoantes que serão perdidas ou mal entendidas durante a comunicação verbal pelos ouvintes (IEC 60268-16,2003). O parâmetro sofre a influência da distância entre o orador-ouvinte do tempo de reverberação do ambiente e do nível de ruído de fundo. O índice % Alcons pode ser derivado do STI e calculado por meio da equação de Farrel Becker e apresentada pela equação 3.6.

$$\% \text{ Alcons} = 170.5405 e^{-5.419(\text{STI})} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

A % Alcons foi introduzida por Peutz (1971), que por meio de suas pesquisas notou que a perda de consoantes, e não de vogais, é que mais reduz a inteligibilidade da fala. A energia contida nas consoantes é relativamente pequena, mas são as consoantes que fornecem a inteligibilidade na fala humana. Frequências abaixo de 500 Hz são insignificantes para a inteligibilidade da fala (MEHTA et al, 1999). A %Alcons, expressa a perda de definição de consoantes, assim quando menores os valores desse parâmetro, melhor qualidade de inteligibilidade.

A escala de valores de % Alcons varia de 0 (correspondendo uma inteligibilidade da fala excelente) a 100 (correspondendo uma inteligibilidade da fala extremamente ruim) (IEC 60268-16, 2003). A tabela 3.4 mostra a comparação entre os valores de %Alcons, o STI e da qualidade da inteligibilidade.

**Tabela 3.4 – Valores de STI e %Alcons e a qualidade da inteligibilidade.**

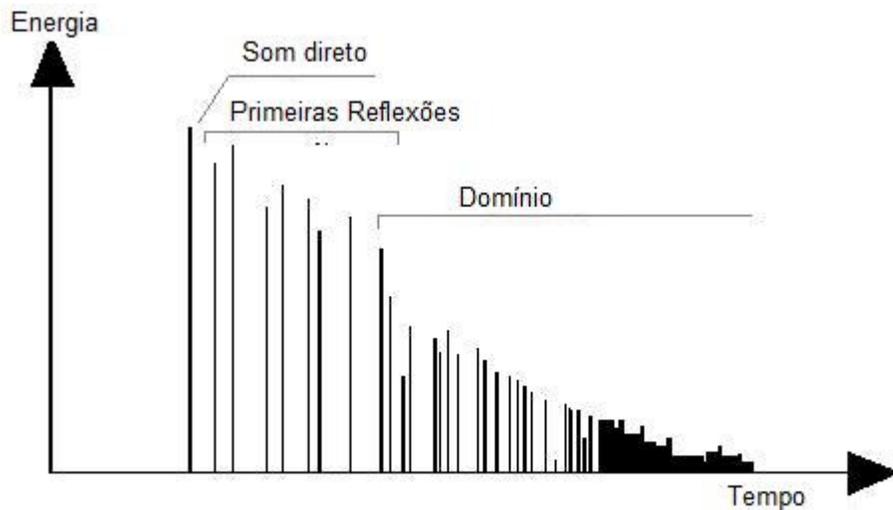
<b>STI</b>	0 - 0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.60	0.60 - 0.75	0.75 - 1.00
<b>Inteligibilidade</b>	Ruim	Pobre	Aceitável	Bom	Excelente
<b>%Alconss</b>	100 - 33	33 - 15	15 - 7	7 - 3	3 - 0

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998; FERNANDEZ et al., 1998]

### 3.2. Técnica de Resposta Impulsiva

Segundo Vorlander e Butz (1994), a resposta impulsiva é uma função temporal da pressão sonora de um espaço acústico, que resulta da excitação desse espaço por uma função que se aproxima da função delta de DIRAC. Bistafa (2003) define a técnica de resposta impulsiva como um registro de pressão sonora em determinado ponto do ambiente, feito a partir do momento em que o ambiente é sonorizado com um impulso. Uma simples inspeção visual da resposta impulsiva revela o som direto, as primeiras reflexões e as várias reflexões que atingem o observador logo após o som direto. O

decaimento do sinal, conforme o exemplo do refletograma da figura 3.4, caracteriza o espaço acústico como um todo.



**Figura 3.4 - Refletograma.**

[Fonte: adaptada de BERTOLI e GOMES (2005)]

A resposta impulsiva (RI) de um espaço acústico fornece uma descrição precisa desse sistema. Os parâmetros acústicos: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ), índice de transmissão da fala (STI) e a porcentagem de consoantes não compreendidas, são derivados diretamente da resposta impulsiva acústica. Uma resposta impulsiva de um campo sonoro consiste no som direto somado a um grande número de reflexões e representa as características da transmissão de uma fonte sonora para um ponto de observação (YAMASAKI, 1992). Sendo assim, para cada posição da fonte e de ouvinte há uma resposta diferente ao impulso.

Sistemas de medição acústica são boas aproximações de sistemas lineares e invariantes no tempo (LIT). Sistemas lineares são, por definição, aqueles nos quais a

relação entre o sinal de entrada e o de saída obedece a uma lei linear. Se essa relação se mantém constante ao longo do tempo, diz-se que o sistema é Linear e Invariante no Tempo. Se esse sistema é alimentado com um sinal de entrada, representado pela Função Delta de DIRAC, um sinal de saída pode ser registrado através da resposta impulsiva (BERTOLI e GOMES, 2005).

Em princípio, qualquer técnica para obter a resposta impulsiva no domínio da frequência, fornece um sinal de impulso, ruído e varreduras de seno ao “dispositivo a ser ensaiado” e analisa a resposta de saída (MULLER e MASSARANI, 2002). Comercialmente um dos programas computacionais que usa a técnica de resposta impulsiva para avaliar a acústica de salas é DIRAC – 7841 da Brüel & Kjaer.

A norma ISO 3382 (1997) faz algumas considerações importantes quanto às condições, às posições e aos procedimentos para a medição da resposta impulsiva acústica. A resposta impulsiva é relacionada entre pares de emissor-receptor. Na acústica de ambientes, a RI obtida entre um receptor e um emissor caracteriza o sistema acústico, mas essa RI não pode ser utilizada para caracterizar a resposta do ambiente como um todo. Para a obtenção dos parâmetros acústicos de um ambiente, a norma ISO 3382 (1997) recomenda que a RI de um ambiente, seja medida em no mínimo 3 posições de fontes sonoras e entre 6 a 10 pontos de microfone, posteriormente obtendo-se a média energética destas RI. Microfones e alto-falantes usados para esse fim devem ser omnidirecionais.

## **4. A ACÚSTICA DE GINÁSIOS DE ESPORTES**

Neste capítulo são apresentados exemplos de ginásios de esportes onde foram realizadas medições acústicas ou que receberam tratamentos para solucionar problemas acústicos. Esses exemplos são resultados da revisão bibliográfica sobre o tema.

Os ginásios de esportes por abrigarem diversas atividades ruidosas (fontes sonoras) são ambientes que podem apresentar sérios problemas de ruído interno. É importante que o desempenho acústico dos ginásios atendam aos parâmetros acústicos adequados a essas atividades a que se destinam (KNUDSEN e HARRIS, 1988). Como nos teatros e nos auditórios multifuncionais o que se espera de um ginásio de esportes é que ele esteja preparado e equipado para receber vários tipos de eventos: de uma palestra a um concerto de rock, de um espetáculo de dança a uma peça de teatro (JÚNIOR, 2008). Para tanto, os ginásios de esportes devem ser investigados, para melhorar o desempenho acústico desses ambientes e proporcionar conforto aos seus usuários.

Edificações destinadas a diversas atividades (finalidades) necessitam projetos e planejamentos específicos quanto aos conceitos acústicos. Os projetos precisam ser embasados em estudos acústicos, e se possível com simulações computacionais para alcançar a qualidade do ambiente. Normalmente os ginásios alcançam a função de lazer ao usuário quanto aos parâmetros esportivos, mas com deficiências quanto aos parâmetros acústicos. Segundo Pope e Kurakata (2006), os ginásios de esportes são ambientes para proporcionar conforto, seja ele acústico, luminoso ou térmico.

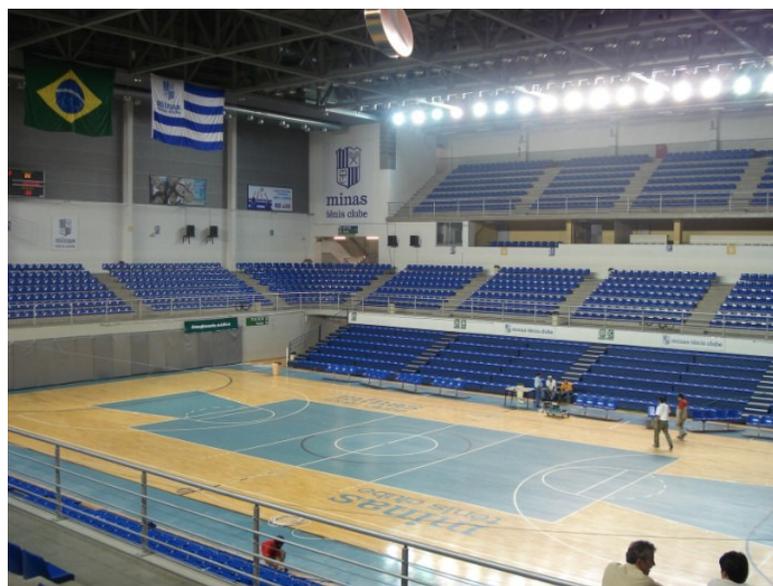
O tempo de reverberação (TR) de ambiente destinado à fala não é o mesmo que o utilizado para músicas (COWAN, 2000). Assim como o TR do ambiente destinado à música não é o mesmo para ambientes destinados a jogos. Portanto, para cada tipo de atividade, sejam elas jogos, palavra falada e música, o projeto e planejamento de ginásios devem contar com recursos espaciais, materiais, humanos e acústicos capazes de torná-los adequados à apresentação de cada uma das atividades a que se destinam. Um projeto arquitetônico mal elaborado gera um desempenho acústico inadequado ao ambiente. Com relação aos ginásios de esportes para multiuso, o ambiente deverá estar adequado, de modo que o mesmo possa atender as diversas atividades com pequenas variações acústicas, proporcionando um equilíbrio acústico entre as atividades nela presente.

As diversas atividades desenvolvidas nos ginásios de esportes, como palestras, conferências, debates, peças teatrais, feiras e demais atividades em que prepondera a palavra falada necessitam de ambientes que assegurem audibilidade e inteligibilidade sonora. As demais atividades, como apresentações de grupos musicais (bandas) e de solistas, necessitam de ambientes que assegurem o completo preenchimento do ambiente com o som dos instrumentos, sem auxílio de amplificação. Além disso, o som deve ser claro, envolvente e uniforme em todos os pontos do ambiente, livre de anomalias como ecos (JÚNIOR, 2008).

Muitas vezes as atividades desenvolvidas nos ginásios de esportes, são ruidosas e, nesses casos, necessitam de equipamentos eletroacústicos (amplificadores) pela necessidade de se elevar a voz de modo significativo. Essa elevação contribuindo para o aumento do ruído ambiental, num paralelo com o conhecido efeito “cocktail” (KUSAKAWA E VIVEIROS, 2002). O efeito “cocktail” foi identificado na década de 1950, e se refere ao processo de uma pessoa tender a elevar sua voz, quando estiver em ambiente ruidoso, com o objetivo de ser melhor ouvida (NAVARRO; PIMENTEL, 2005).

Mesmo as edificações com planejamento acústico pré-determinado poderão necessitar de correções acústicas futuras em seu projeto para proteger-se do ruído externo, advindo do aumento do ruído do tráfego urbano e das atividades na redondeza. Esses projetos de adequação acabam encarecendo a obra e muitas vezes não permitem solução, esbarrando em algumas limitações.

O ginásio do Minas Tênis Clube, mas conhecido como Arena Telemig Celular, localizado na cidade de Belo Horizonte, MG, Brasil, recebeu cuidados especiais desde sua implantação, tanto quanto os aspectos construtivos como todo o comportamento ambiental (acústico, térmico ou luminoso). A foto interna desse espaço está apresentada na figura 4.1. O planejamento e o projeto acústico adequado aos conceitos de qualidade acústica foram essenciais na consolidação da edificação. Atualmente, por sua qualidade acústica, o ginásio do Minas Tênis Clube, recebe várias atividades (jogos esportivos, teatro, festas e shows) e não gera desconforto e incômodo a sua vizinhança e/ou ao seu usuário.



**Figura 4.1 – Foto interna do Ginásio de Esportes do Minas Tênis Clube, Belo Horizonte.**

Muitos projetos de ginásios de esportes internacionais não receberam tratamento acústico na sua elaboração projetual, podendo futuramente apresentar problemas. No Brasil, são raros projetos acústicos antecedendo a concretização da construção.

Yuan e Yuan (1990) descrevem um trabalho realizado por eles em 1976, onde tiveram a tarefa de melhorar a qualidade acústica de um ginásio de esportes na China, já construído. O ginásio multidisciplinar de Xu Zhou, cuja planta baixa e corte aparecem na figura 4.2, é a principal edificação da cidade para realização de eventos. Este espaço, em geral, é utilizado para atividades esportivas, filmes, óperas e concertos.

O ginásio é retangular em planta, com área de piso de 51,8m x 36,0m. As paredes são de alturas de 10,1m, e a estrutura do telhado é um arco em concreto armado com uma distância de 16,4m do nível do chão. Tem capacidade para aproximadamente 3000 pessoas. Os assentos dos espectadores são feitos de concreto armado sem cadeiras ou bancadas. A iluminação é principalmente natural vinda pelas janelas laterais e através de 320 aberturas na cobertura, cada uma com 500mm de diâmetro. O grande volume e as superfícies rígidas resultaram em um tempo de reverberação alto, excluindo a boa acústica para palavra falada e as execuções musicais. O tempo de reverberação em função da frequência obtido antes do tratamento nas condições vazio e ocupado está exposto na tabela 4.1.

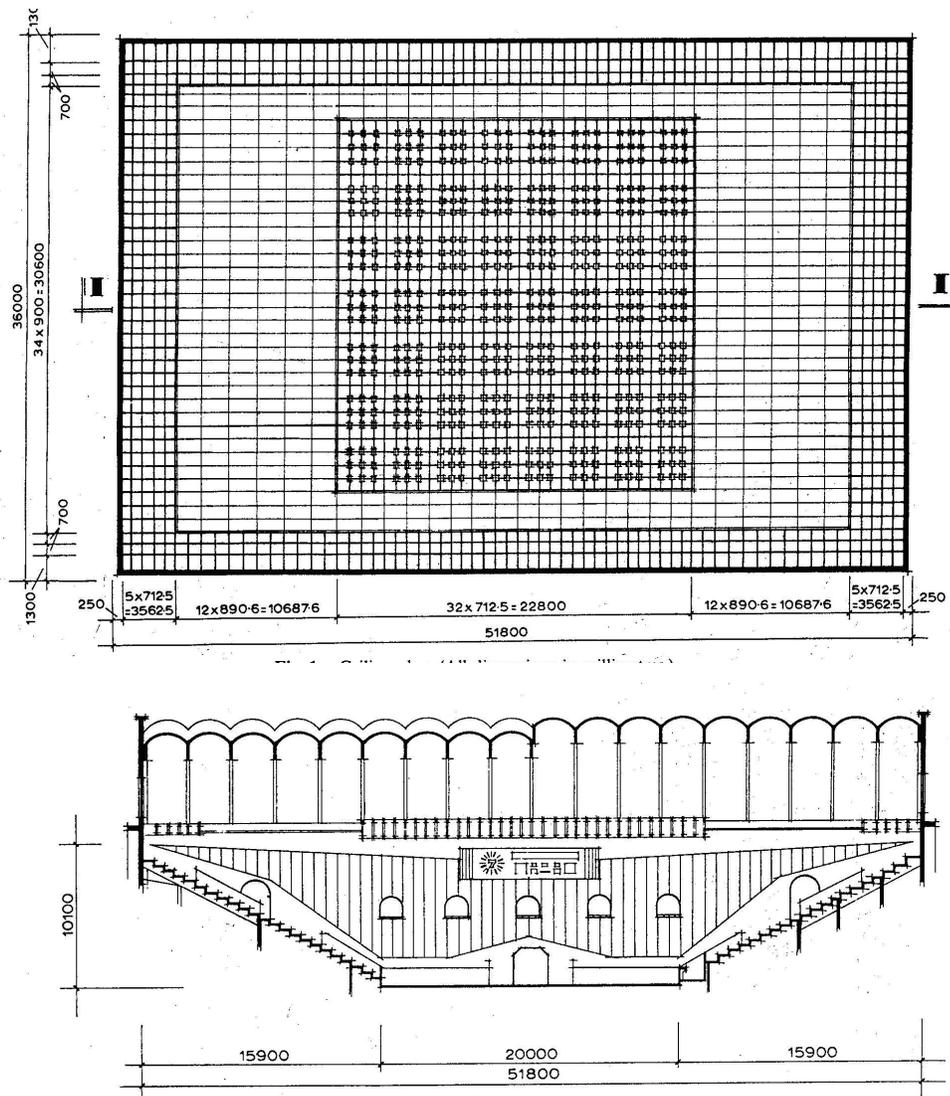


Figura 4.2 – Planta Baixa e Corte do Ginásio Multidisciplinar de Xu Zhou, China.

[Fonte: Yuan e Yuan, 1990]

Tabela 4.1 - Tempo de Reverberação do Ginásio de Esportes antes do tratamento.

Frequência central – 1/1 oitava	125	250	500	1000	2000	4000
Tempos de Reverberação – vazio(s)	7,7	7,3	5,9	5,6	4,3	3,5
Tempo de Reverberação – ocupado(s)	4,5	4,5	3,0	2,6	2,1	1,6

[Fonte: Yuan e Yuan, 1990]

Mesmo quando o ginásio está totalmente ocupado, o tempo de reverberação para as frequências abaixo de 2KHz são altos para a percepção da fala e da música. A qualidade acústica do ambiente precisava ser melhorada diminuindo o tempo de reverberação, e poderia ser alcançada por meio de redução do volume, do aumento da absorção do som ou ambos. Os autores se depararam com duas limitações: a estrutura original não permitia suportar muito material absorvente e a iluminação natural, vindo da parede lateral e da cobertura, não podia ser obstruída.

Segundo os autores do trabalho, entre as opções para adequar a qualidade acústica do ginásio, a mais favorável foi a inserção de uma estrutura em grelha de madeira laminada suspensa vindo da cobertura curva do ginásio, instalada na parte central e nos lados do ginásio. As paredes foram tratadas com um material absorvente convencional. Os resultados do tempo de reverberação depois do tratamento com a instalação de material são apresentados na tabela 4.2, comprovando que a utilização de materiais absorventes e alguma tecnologia contribuíram para a melhoria da qualidade do ambiente já construído.

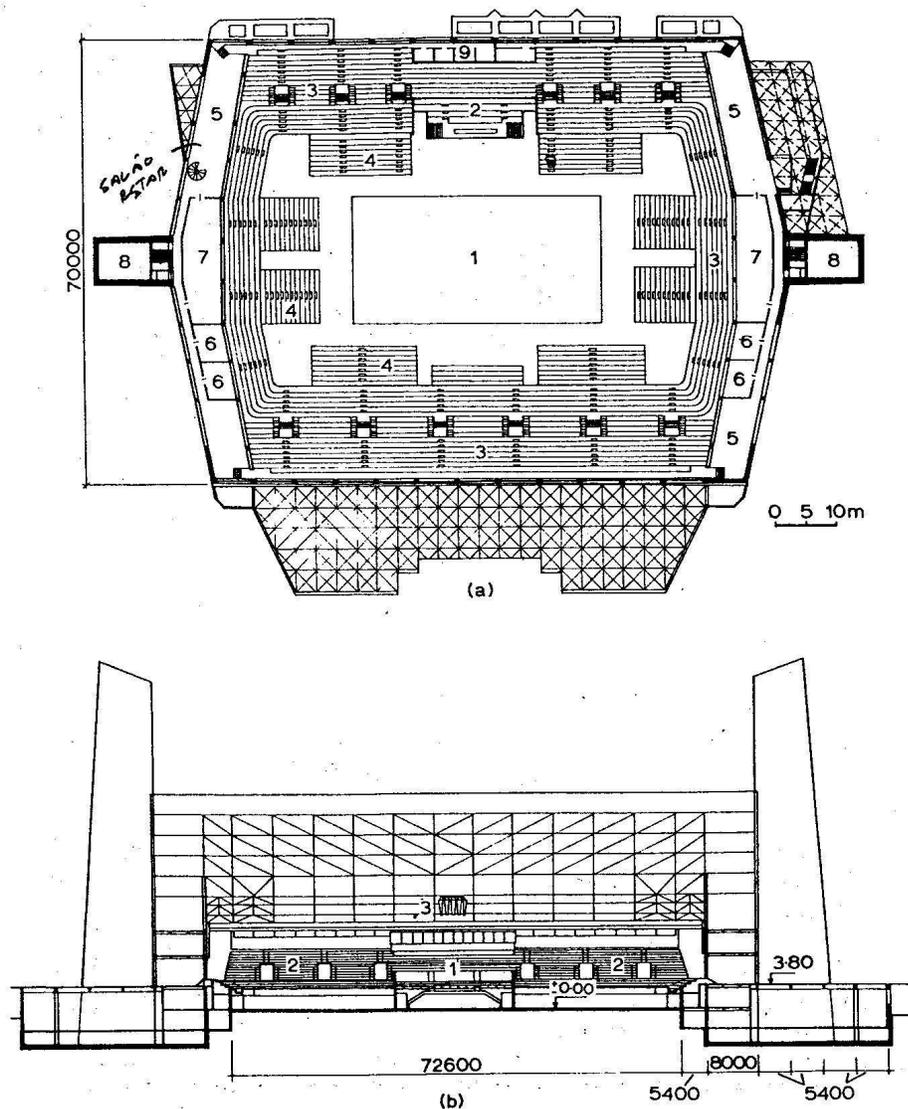
**Tabela 4.2 - Tempo de Reverberação do Ginásio de Esportes depois do tratamento.**

<b>Frequência central – 1/1 oitava</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
Tempos de Reverberação – vazio (s)	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Tempo de Reverberação – ocupado (s)	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8

[Fonte: Yuan e Yuan, 1990]

Duanqi, Zheng e Jinjing (1991) relatam um trabalho, no qual tiveram a tarefa de qualificar acusticamente um típico ginásio de esporte para pratica esportiva e um ginásio de natação com telhado “corda bamba”, mostrado no corte da figura 4.3, localizados no Centro Nacional de Esportes Olímpicos na China. O ginásio de esportes tem dimensões de 99m x 70m x 34.5m, e volume de aproximadamente 100.000m<sup>3</sup>. O ambiente é utilizado para eventos esportivos e culturais. No entanto, o ginásio tinha que

ter uma boa característica acústica e baixo tempo de reverberação para atender tanto os eventos culturais como os eventos esportivos.

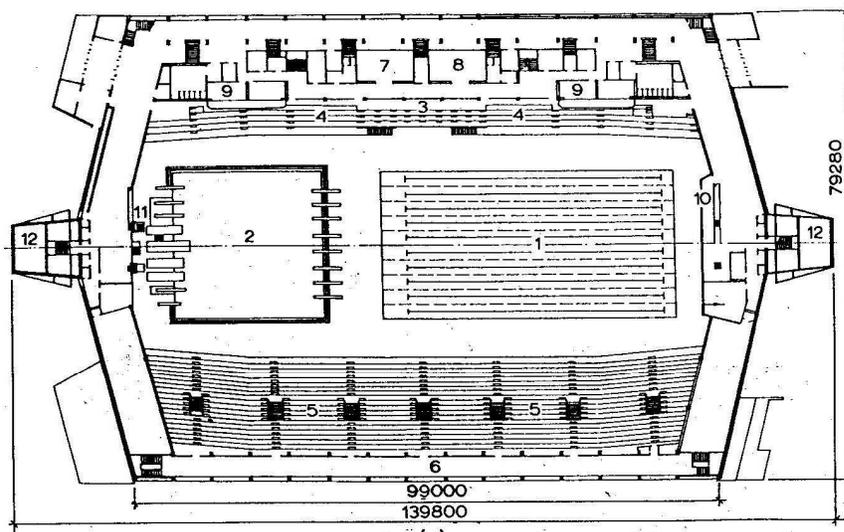


**Figura 4.3 – Planta Baixa e Corte do Ginásio de Esportes do Centro Nacional de Esportes Olímpicos.**

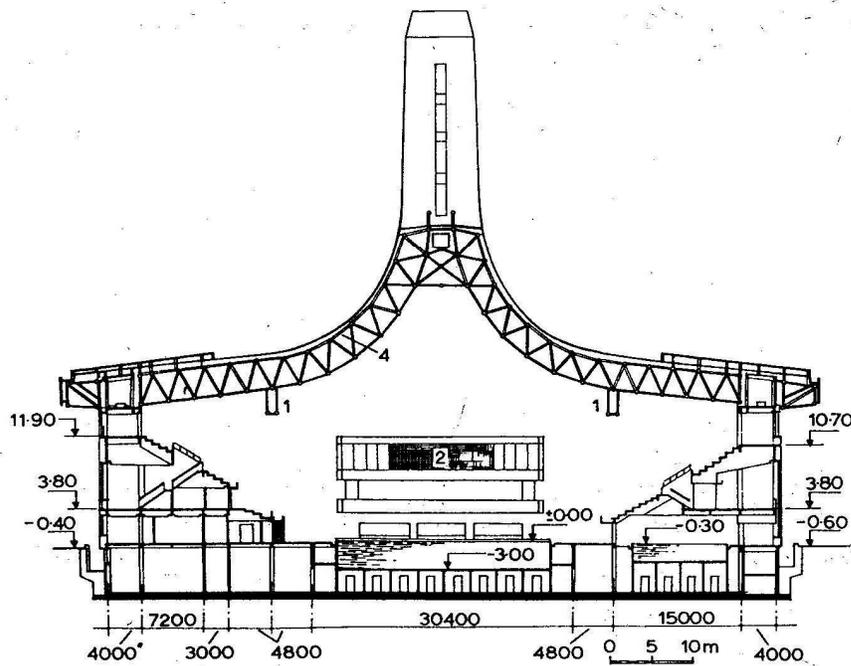
[Fonte: Duanqi, Zheng e Jinjing, 1991]

O ginásio de natação com dimensões de 117m x 79,5m x 35m, volume de 162.000m<sup>3</sup>, foi construído apenas para natação e saltos ornamentais, sendo

suficientemente satisfatórios para o tratamento acústico a correção da inteligibilidade da fala. A figura 4.4 mostra a planta baixa e o corte do ginásio de natação. Duanqi, Zheng e Jinjing tinham como meta quanto ao tempo de reverberação para as médias freqüências de 1,6s para o ginásio de esportes e de 2,5s para o ginásio de natação, para ambos na condição ocupado.



(a)



(b)

**Figura 4.4 – Planta Baixa e Corte do Ginásio de Natação do Centro Nacional de Esportes Olímpicos.**

[Fonte: Duanqi, Zheng e Jinjing, 1991]

No ginásio de esportes, foi necessária incluir uma grande área de absorção sonora para controlar o tempo de reverberação. Contudo, somente na estrutura e nas

paredes laterais, excluindo o placar, as janelas de iluminação e a sala de controle de som, poderiam ser recobertos com materiais absorventes.

Para alcançar o tempo de reverberação recomendado, três tipos de absorventes aéreos suspensos nas estruturas flutuantes da cobertura foram empregados no ginásio. Os absorventes feitos de fibra de madeira, fibra de vidro e painéis perfurados de madeira com 28% de perfuração, foram suspensos respectivamente na área central e no entorno da estrutura flutuante. Nas paredes laterais (excluindo o placar, as janelas e a sala de som e iluminação), foram colocados grandes painéis absorventes, o que possibilitou a redução do tempo de reverberação para os níveis de exigências requeridas.

Quanto ao ginásio de natação, além de todos os fatores desfavoráveis encontrados no ginásio de esportes, como a volumetria, a ausência de espaço para a colocação de materiais absorventes, dentre outros, havia o problema da umidade. A alta umidade não permitia a utilização de materiais porosos como os utilizados no ginásio de esportes. O material a ser empregado teria que ser resistente à umidade e que não deteriorasse com o tempo. Depois de vários testes, foi utilizado como material absorvente, uma fibra de poliéster suspensa abaixo da arquibancada e placa de alumínio com feltro nas paredes laterais do ginásio, possibilitando a redução do tempo de reverberação a níveis adequados.

Para eliminar o ruído produzido pelo sistema de ar condicionado e ventilador, as principais fontes de ruído em ambos os ginásios, vários silenciadores foram montados entre os ventiladores e os sistemas de dutos. Além disso, vários silenciadores foram instalados no sistema de dutos imediatamente antes de entrar no ambiente, para prevenção do ruído ambiental transmitido para dentro do ambiente pelo sistema.

Cowan (2000) aponta o estudo de caso de um ginásio escolar (The Pierce School (Brookline, MA)), cujo tempo de reverberação era igual a 6s, dificultando a inteligibilidade da fala entre instrutores e alunos. A solução foi a distribuição de

materiais absorventes nos recintos buscada na análise dos comportamentos acústicos dos materiais. A alteração proporcionou uma redução do tempo de reverberação e os usuários passaram a entender melhor a fala. O autor não apresenta o valor da redução no tempo de reverberação.

Rychtarikova, Voorden e Saher (2003) também indicam a avaliação e correção acústica de um ginásio de escola primária com dimensões são 21,5 x 14 x 5,3m, sendo o volume igual a 1610m<sup>3</sup>. O ambiente era usado para aulas de educação física e considerado pelos usuários como um espaço ruidoso. Em uma primeira medição, foi avaliado o ruído das atividades dos alunos, cujos resultados não foram descritos pelo autor. Com o ginásio vazio (sem qualquer atividade) as medições do tempo de reverberação foram realizadas, seguindo as recomendações da norma ISO 3382 (1997). Foram encontrados tempo de reverberação elevados para as médias frequências cujos valores variam de 1,5s à 4,0s. Em outra pesquisa desenvolvida pelo mesmo autor, conclui-se que para o ginásio ter uma ótima qualidade acústica, os materiais absorventes deveriam ter altos coeficientes de absorção e que o nível de pressão sonora interno e o tempo de reverberação deveriam ser baixos (RYCHTARIKOVA et al, 2004).

Como podemos observar nos estudos apresentados, os ginásios geralmente, apresentam dois problemas freqüentes: o alto tempo de reverberação, causado pela quantidade de absorção acústica insuficiente, o alto nível de ruído causado pelos dutos de ar condicionado e pela interferência de outros ruídos, internos ou externos (IRVINE e RICHARDS, 1990)

Ginásio de esportes em geral, por se tratarem de grandes espaços internos, tem grandes volumes e muitas superfícies de revestimento reflexivas, apresentam altos tempos de reverberação e sons não integrados (ecos excessivos). Tempo de reverberação elevados e ecos excessivos, impedindo a clareza da audição, são aspectos que devem ser analisados cuidadosamente, uma vez que a eficiência ou ineficiência acústica destes ambientes interferem na compreensão da fala produzindo

dificuldades na inteligibilidade da fala, além de algumas vezes gerarem desgaste físico e psicológico em seus usuários (PAIXÃO E SANTOS, 1995; RUSSO 1999 apud FREITAS, 2005; KNUDSEN e HARRIS, 1988). O controle de ruído e da reverberação são, portanto, parâmetros acústicos muito importantes para esses ambientes.

Irvine e Richards (1990) afirmam que o tempo de reverberação desejável nas médias freqüências depende do tamanho do ambiente, mas tipicamente deveria ser aproximadamente de 1,0s para pequenos ginásios e não acima de 1,5s para grandes ginásios, mas não especifica o volume dos ginásios. Rychtarikova (2004) afirma que para um ginásio de aproximadamente 5000m<sup>3</sup>, o tempo de reverberação não deveria exceder 1,5s. Este valor pode ser conseguido pela utilização de material absorvente na cobertura e alguns absorventes na parede.

Os exemplos e tratamentos acústicos citados por Irvine e Richards (1990) que podem trazer conforto são: o tratamento acústico na cobertura e nas paredes laterais dos ambientes utilizando de materiais acusticamente absorventes, mas resistentes a impactos como madeira tratada, chapas metálicas furadas, fibras de vidro, que possam suportar frequentemente batidas de bolas, resistentes à umidade e que sirva de isolante contra o impacto da chuva.

Problemas quanto à utilização desses materiais resistentes é a ineficiência para a absorção em altas freqüências. Painéis acústicos nas paredes devem ter uma resistência a impactos, sendo recomendado que seja posicionado na parte baixa da parede ajudando a prevenir ecos, bem como redução da reverberação. Quando há presença de palco, as paredes opostas deveriam ser tratadas com material absorvente acústico prevenindo a reflexão de ecos. Os materiais acústicos devem ser porosos com tratamento químico anti-fungicida, pois a umidade do ambiente pode trazer sérias conseqüências como proliferação de fungos.

Knudsen e Harris (1988) comprovam que além da instalação de materiais específicos para o controle do ruído, irregularidades no teto, nas paredes e a

localização das janelas e portas, podem auxiliar na redução do tempo de reverberação, na inteligibilidade da fala e/ou em outros parâmetros acústicos. Desta forma é de grande importância obter informações corretas sobre o desempenho dos materiais existentes e usadas nas construções, para relacionar suas características acústicas, forma de aplicação e disponibilidade para o consumo.

Nos ginásios consultados podem-se observar uma preocupação dos profissionais e pesquisadores com a adequação do tempo de reverberação e do nível de pressão sonora desses ambientes. Outros parâmetros acústicos como, tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ) e o índice de transmissão da fala (STI), devem ser também utilizados na caracterização acústica dos ambientes de modo que mais informações sejam obtidas e o ambiente possa apresentar desempenho acústico adequado as suas necessidades.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta pesquisa científica pode ser classificada, quanto aos seus objetivos gerais, como de natureza “Exploratória”, segundo os critérios indicados por Gil (2002). Trata-se de um “Estudo de Caso”, destinado a analisar os dados coletados, de medições acústicas realizadas em ginásios de esportes das cidades de Campinas, SP e avaliar o desempenho acústico de projetos arquitetônicos desse tipo de edificação. Com o propósito de aprimorar o conhecimento da acústica sobre ginásios de esportes e por se tratar de características de uma determinada população (ginásios de esportes), a modalidade do estudo de caso desta pesquisa pode ser considerada como “estudo de caso coletivo”.

Cientificamente, a acústica arquitetônica é uma área de conhecimento relativamente “nova”, cujos fundamentos foram estabelecidos na segunda década do século XX. Apesar de na segunda metade do século XIX aparecerem algumas contribuições importantes para os estudos acústicos, é só a partir do século XX que os problemas acústicos passaram a ser tratados com maior embasamento científico (SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2003). No Brasil, somente no final do século XX é que a acústica de ambientes passou a ser utilizada em projetos arquitetônicos.

Até a última década do século XX, a maioria dos projetos de ginásios de esportes não incorporava consultores acústico, térmico ou luminoso capazes de interpretar e aplicar normas técnicas, nessas edificações. Os ginásios anteriores a essa época tinham, portanto, um desempenho relativamente diferente dos ginásios que mais tarde contavam com a presença desses consultores no projeto. Na primeira década do

século XXI, muitos projetos de ginásios de esportes brasileiros passaram a contar com profissionais especializados (térmico, acústico e luminoso) em projetos preliminares desse tipo, trazendo qualidade às edificações.

Esta pesquisa teve como enfoque principal avaliar a qualidade acústica interna de três ginásios de esportes localizados em Campinas, SP, que não receberam tratamento acústico, nem na concepção, nem construção. O desenvolvimento do trabalho passou por levantamento de dados arquitetônicos e construtivos *in loco* e medidas de parâmetros acústicos, através dos procedimentos metodológicos que serão delineados neste capítulo.

### 5.1. Objeto de Estudo

Como objeto de estudo, foram escolhidos três ginásios de esportes localizados na cidades de Campinas, SP, que diferem na sua forma construtiva, volumétrica e características funcionais. Serviram como estudo, o Ginásio Multidisciplinar da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas); o Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação e o Ginásio do Tênis Clube de Campinas, mostrados na figura 5.1. A caracterização física destes espaços está apresentada no capítulo subsequente.



**Figura 5.1 – Vista do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp, Ginásio do Clube Campineiro Regatas e Natação e Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

Para facilitar a análise dos resultados foi elaborada uma planilha para coleta de dados que foi preenchida para cada ginásio de esportes. A planilha está apresentada

no apêndice “A” e contém as seguintes informações: identificação dos ginásios de esportes, localização, data e horário das medições, descrição dos materiais construtivos, identificação de mobiliário existente, dimensões (comprimento, largura e altura), volumetria, croqui dos ginásios com os pontos de medição e identificação dos equipamentos utilizados e parâmetros acústicos medidos.

## **5.2. Caracterização Acústica.**

A caracterização acústica dos espaços escolhidos baseou-se em medidas. Os parâmetros escolhidos para avaliar o desempenho acústico dos ginásios de esportes foram: os níveis de pressão sonora em função da frequência (NPS), o tempo de reverberação (TR), o tempo de decaimento inicial (EDT), a definição ( $D_{50}$ ), a clareza ( $C_{80}$ ) e o índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (% Alcons).

O nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro) foi medido com o analisador de frequência em tempo real modelo BK 2260 (Investigator 2260) da Bruel & Kjaer. Com os resultados do espectro sonoro obteve-se o valor de nível de critério (NC) de cada espaço através das curvas de avaliação da NBR 10152 (ABNT, 1987). Nessa norma os valores recomendados de nível de critério para locais como pavilhões fechados destinados a espetáculos e atividades esportivas estão entre 40 e 55.

As medidas dos parâmetros acústicos, com exceção das medidas do nível de pressão sonora (NPS), foram feitas utilizando a técnica de resposta impulsiva e os parâmetros foram calculados pelo software de avaliação acústica de ambientes, o programa DIRAC 3.0 (Room Acoustics Software - Type 7841) da B&K. Para obter a resposta impulsiva dos ginásios de esportes, foi utilizado o sistema composto por: um micro computador com placa de som VX pocket, a fonte sonora omnidirecional modelo 4296 da B&K (OmniPower™ Sound Source Type 4296), o amplificador modelo 2716 da

B&K (Power Amplifier Type 2716) e o microfone do Mediator 2238 da B&K para captar o sinal sonoro.

Um sinal sonoro do tipo MLS ou varredura de senos gerado pelo programa é enviado a fonte sonora e emitido no ambiente. A resposta do ambiente é captada pelo microfone e enviada para o programa DIRAC através da placa de som. O programa processa a resposta impulsiva do ambiente e dela calcula os parâmetros acústicos: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ) e o índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (% Alcons's). Todos os parâmetros acústicos definidos pela norma ISO 3382 (1997) são derivados diretamente da Resposta Impulsiva.

Os parâmetros acústicos foram medidos em função da frequência em bandas de 1/1 oitava. Os intervalos de frequência variaram segundo o parâmetro. Para o espectro o intervalo foi de 63 a 8000Hz, para TR e EDT o intervalo foi de 125 a 4000Hz e para  $D_{50}$  e  $C_{80}$  foi entre 63 e 4000Hz.

Os pontos de medição para obtenção dos parâmetros acústicos, obedeceram às recomendações da norma NBR-10151 (ABNT, 2000), observando que as medidas devem ser feitas a 1,2m do piso, no ambiente interno a pelo menos 1,0m das paredes e 1,5m das janelas. Os níveis sonoros medidos em interiores devem ser a média de pelo menos três posições a 0,5m uma da outra, quando houver possibilidade de ondas estacionárias; as janelas devem estar abertas a não ser que sejam utilizadas regularmente fechadas.

No caso dos ginásios de esportes as aberturas que dão acesso a outros ambientes internos e externos foram fechados, de modo que a medição captasse os ruídos percebidos dentro do ambiente das quadras e arquibancadas. No momento das medições os ginásios de esportes estavam vazios, porém as salas adjacentes (administrativo, secretarias e informações) estavam em horário de funcionamento normal. Verificou-se que essas atividades não interferiram nas medições.

As medidas acústicas, para todos os ginásios de esportes, foram realizadas no período diurno, iniciando-se pela manhã, quando o fluxo de veículos é praticamente contínuo. Especificamente nos ginásios de esportes dos clubes, as medições foram realizadas na segunda-feira, quando o acesso ao público é restrito e são executadas atividades de manutenção. Não ocorreram interferências internas de pessoas ou de atividades durante as medidas nos ginásios.

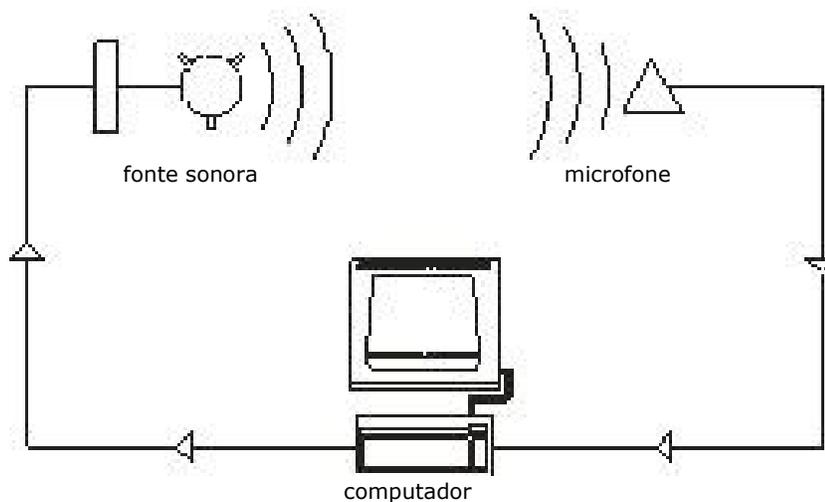
A norma ISO 3382 (1997) especifica métodos para a medição de tempo de reverberação em salas. Ela não está restrita a auditórios ou salas de concerto, mas é aplicável a salas que sejam usados para fala, música ou ambientes que necessitem de proteção quanto ao ruído. A norma descreve os procedimentos de medição, conjunções de equipamentos necessários e métodos de avaliação de dados. Ela é usada também para aplicação de técnicas de medição digital e para avaliação de parâmetros acústicos derivados da resposta impulsiva do ambiente.

Para a medição dos parâmetros, a norma ISO 3382 recomenda a resposta impulsiva seja avaliada em no mínimo 18 posições distintas. Considera-se posição distinta o par fonte/receptor. As escolhas dos pontos de medição nos ginásios obedeceram a recomendação da norma.

No ginásio Multidisciplinar da Unicamp, para as medidas dos parâmetros acústicos com exceção dos NPS, foram escolhidos, seis pontos de fontes e seis pontos de medição, totalizando 36 conjuntos de medições. As fontes foram nomeadas de F1, F2... F6 e a posição dos pontos de medição nomeados de P1, P2,... P6, todos dentro do perímetro interno da quadra com exceção da fonte "F6" localizada no palco. Não foram escolhidos pontos nas arquibancadas, pois o objetivo era avaliar a área interna da quadra onde são realizadas as atividades. O nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro) foi medido três vezes em cada ponto de medição (P1, P2,... P6). Os pontos de fontes sonoras e os de medição foram distribuídos de modos aleatórios e são apresentados no capítulo posterior.

Nos ginásios do Clube Campineiro de Regatas e Natação e do Tênis Clube de Campinas, as medidas acústicas foram realizadas com três posições de fontes sonoras e quinze pontos de medição, totalizando quarenta e cinco medições. As fontes foram nomeadas como F1, F2 e F3 e os pontos de medição nomeados de 1 a 15 (P1, P2,... P15). Como a distribuição das arquibancadas nos três ginásios de esportes multifuncionais são distintas, as medições acústicas aconteceram dentro dos limites da quadra, na área que era comum as 3 configurações e onde se concentram as atividades em geral. O nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro) foi medido em todos os pontos. Os três pontos de fontes sonoras e os quinze pontos de medição foram distribuídos de modo aleatório, e são mostrados no capítulo subsequente.

O sistema de medição acústica é geralmente constituído por dois módulos. O primeiro módulo responsável pela geração do sinal, processamento da resposta impulsiva (RI) e calculo dos parâmetros acústicos, são implementados por um microcomputador com software específico. O segundo módulo responsável pela aquisição de sinais sonoros é realizado por uma placa de áudio e um conjunto de transdutores. Ambos os módulos são representados na figura 5.2.



**Figura 5.2 - Esquema de montagem do sistema que gera a resposta impulsiva no ginásio.**

Observando o esquema da figura 5.2, a fonte gera um sinal sonoro que é captado pelo microfone e enviado para o programa DIRAC através da placa de som. O programa DIRAC processa a resposta impulsiva do ambiente e calcula os parâmetros acústicos, conforme a indicação da norma ISO 3382 (1997).

### **5.3. Parâmetros Base de Comparação**

Os resultados do tempo de reverberação, o tempo de decaimento inicial, a definição, a clareza o nível de critério, o índice de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes foram analisados e comparados com valores apresentados e recomendados pelas pesquisas realizadas em ginásios de esportes (YUAN E YUAN, 1990; DUANQI, ZHENG E JINJING, 1991; COWAN, 2000; RYCHTARIKOVA, VOORDEN E SAHER, 2003; IRVINE E RICHARDS, 1990; KNUDSEN E HARRIS, 1988) e por algumas pesquisas realizadas em ambientes multifuncionais (MARSHALL e KLEPPER, 1999; EGAN, 1988; COOPER, 1976).

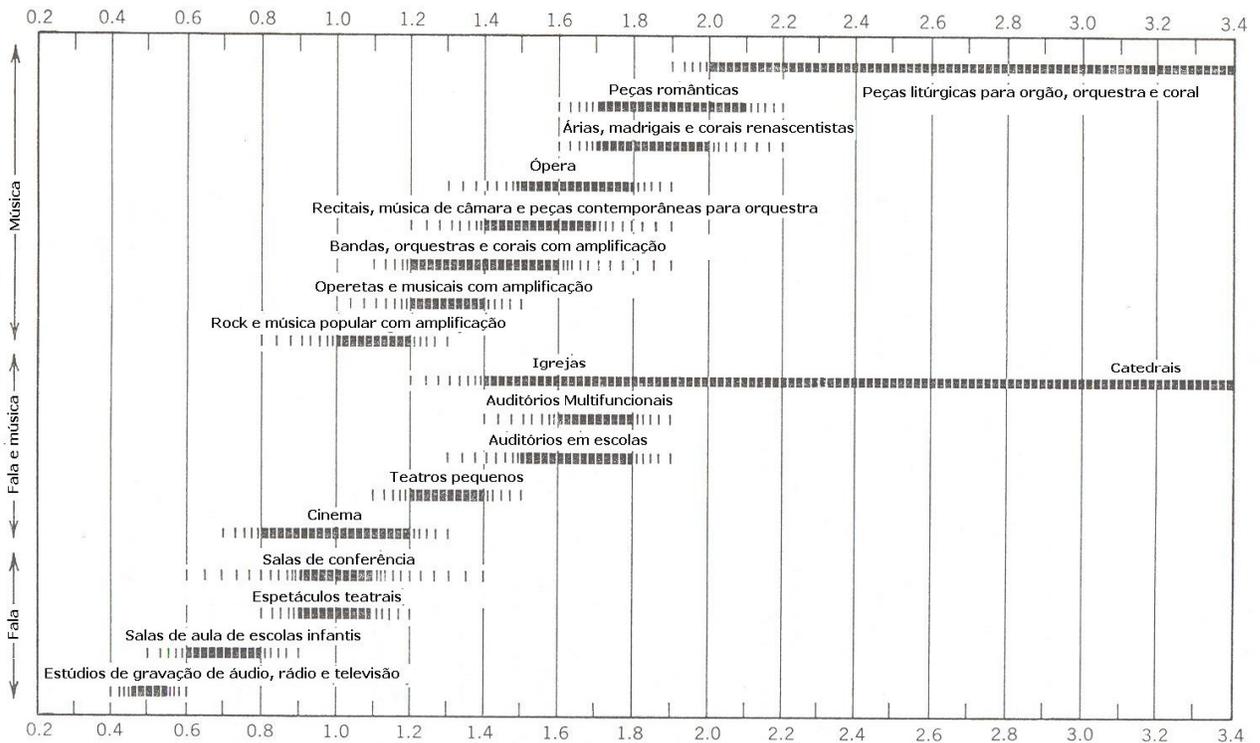
A maioria das pesquisas em ginásios de esportes levantadas e apresentadas se preocupou apenas com os parâmetros acústicos, tempo de reverberação e o ruído de fundo, que são os mais utilizados para as avaliações acústicas. Os ginásios analisados apresentavam diversas atividades: uns abrigavam atividades específicas (natação) e outros apresentavam várias atividades como é o caso do objeto de estudo dessa pesquisa. A cada atividade desenvolvida deve-se levar em consideração um tempo de reverberação diferente. Para palavra falada o tempo de reverberação deve variar entre 0,3 a 1,3 segundos (MARSHAL E KLEPPER, 1999; EGAN, 1998; COOPER, 1976;). Para música amplificada o tempo de reverberação deve variar entre 0,8 a 2,6 segundos (MARSHAL E KLEPPER, 1999; EGAN, 1998; COOPER, 1976;),

É inevitável que o tempo de reverberação é um dos parâmetros mais importante para a avaliação acústica de ambientes fechados. Por esse motivo a análise dos

resultados iniciou-se por este parâmetro. Os outros parâmetros acústicos medidos nesse trabalho estão de certa forma, vinculados ao tempo de reverberação de modo que o alterando, os demais sofrem alterações.

Os três ginásios analisados são utilizados para várias atividades, tanto para palavra falada como para músicas, no entanto, é necessário que os ginásios estejam adequados e adaptados para atender esses dois tipos de funções. Foram levantados algumas recomendações de limites máximos e mínimos para o tempo de reverberação em 500Hz a 1000Hz de acordo com o tipo predominante de programa exibido (MARSHALL e KLEPPER, 1999; EGAN, 1988; COOPER, 1976) e que são apresentados nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

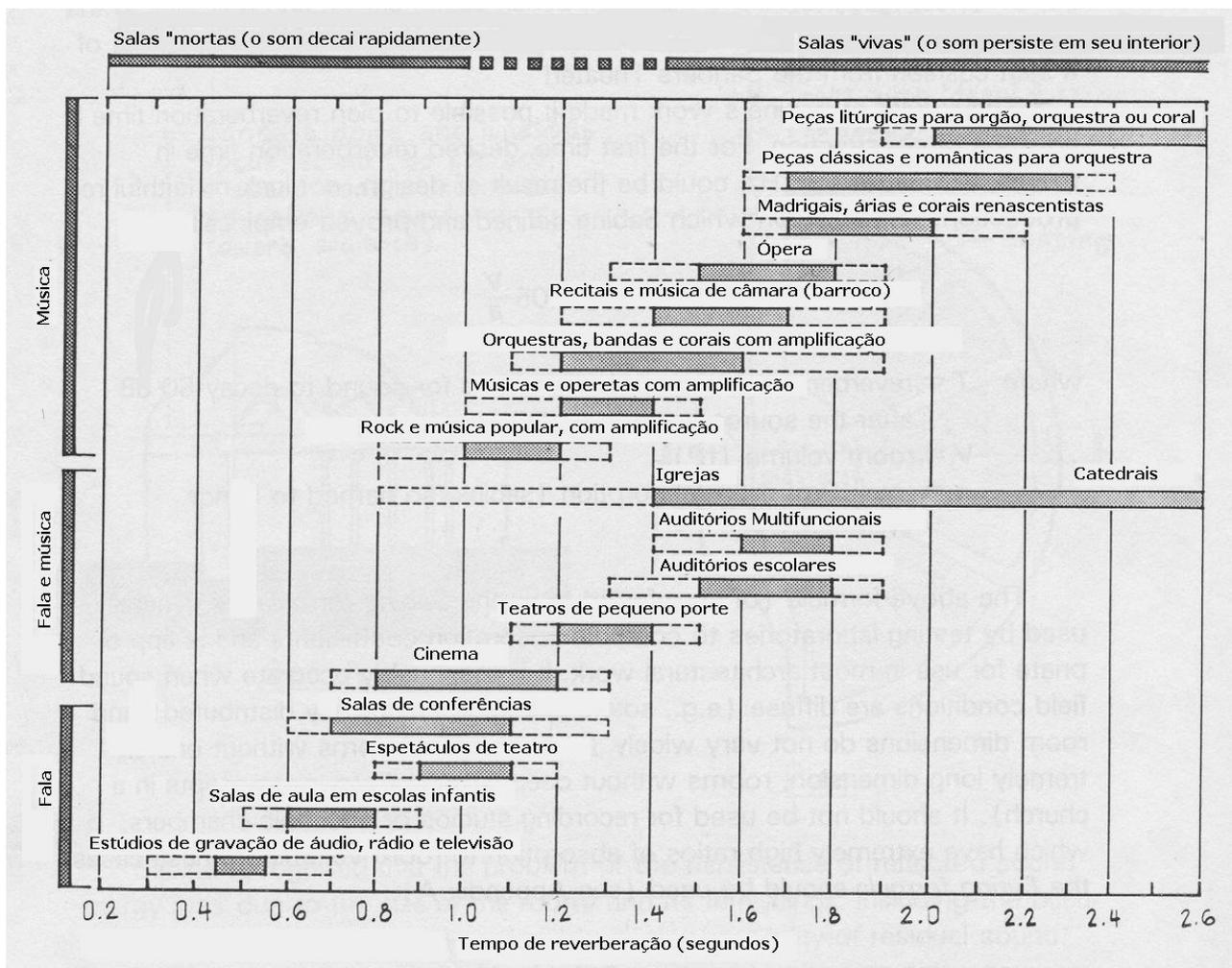
Marshall e Klepper (1999), recomenda que em ambientes onde são executados “rock e música popular com amplificação”, o tempo de reverberação em 500Hz e 1000Hz deve estar contido no intervalo de 1,0s e 1,2 e em “auditórios multifuncionais” o tempo de reverberação em 500Hz e 1000Hz deve estar no intervalo entre 1,6s e 1,8s, como mostra a figura 5.3.



**Figura 5.3 – Limites máximos e mínimos para o Tempo de Reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Marshall e Klepper.**

(fonte: Adaptado de Marshall e Klepper, 1999).

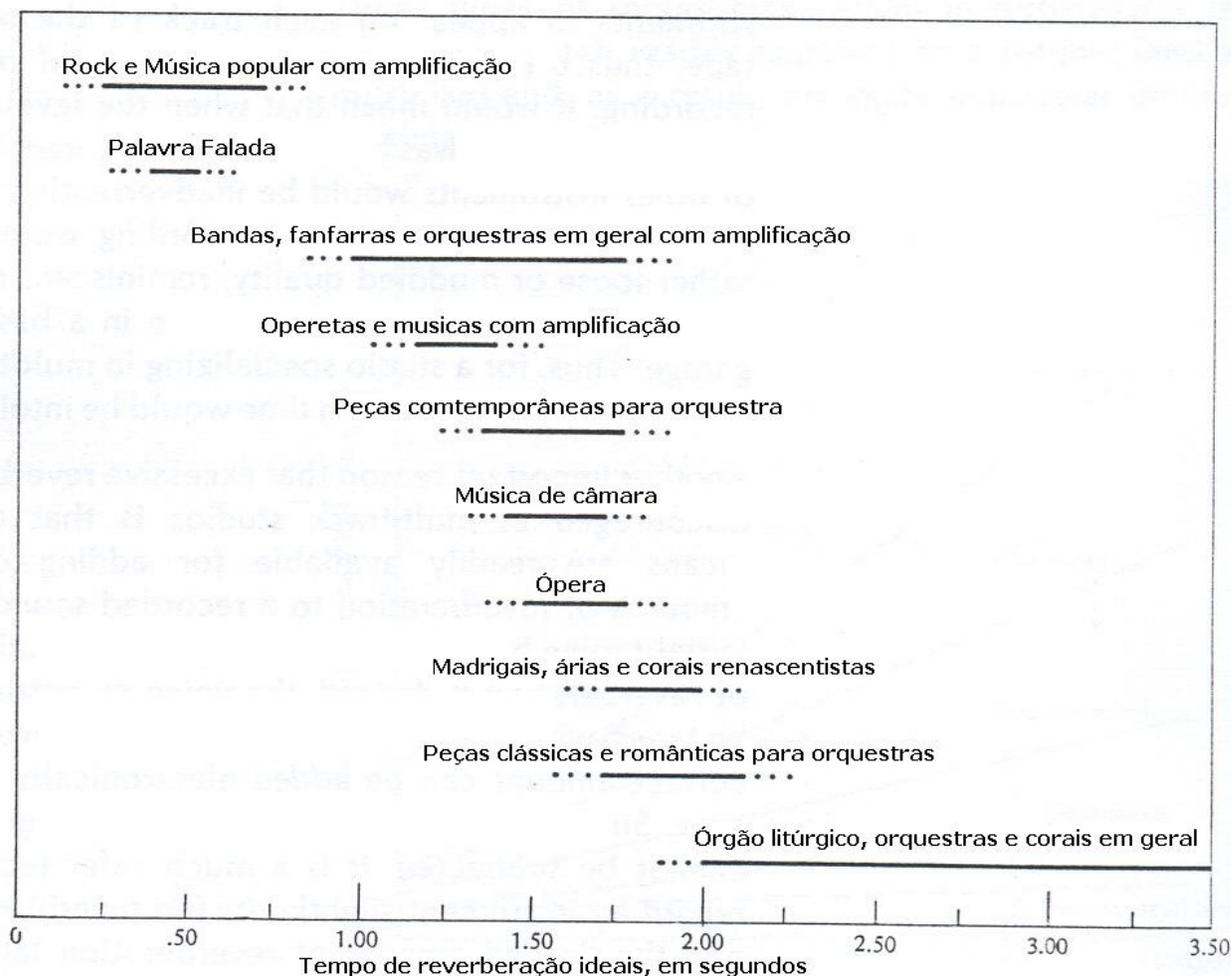
Egan (1988) reitera as recomendações de Marshall e Klepper (1999), para o tempo de reverberação (em 500Hz e 1000Hz) em ambientes com execução de “rock e música popular com amplificação” e “auditórios multifuncionais”, e, como ele, também propõe limites máximos e mínimos para os tempos de reverberação relacionados a diversos tipos de programas, com pequenas variações em relação aos limites propostos por este último, como mostra a figura 5.4.



**Figura 5.4 – Limites máximos e mínimos para o Tempo de Reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Egan.**

(fonte: Adaptado de Egan, 1988).

Com limites ligeiramente diferentes para alguns casos, a figura 5.5 mostra os limites máximos e mínimos para o tempo de reverberação, conforme o tipo de programa exibido segundo Cooper (1976).



**Figura 5.5 – Limites máximos e mínimos para o Tempo de Reverberação de ambientes, de acordo com o tipo de programa exibido, segundo Cooper.**

(fonte: Adaptação de Cooper, 1976).

Os três ginásios de esportes pesquisados são utilizados com mais frequência para conferências, palestras e apresentações teatrais, onde se exigem a fala, shows de grupos musicais e música popular. Segundo os valores apresentados nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5, a variação de TR para os ginásios está entre 0,8 e 1,8s. É evidente que um único tempo de reverberação para um ambiente multifuncional terá dificuldades em atender, por exemplo, as necessidades de eventos de palavra falada e de música popular sem o comprometimento da qualidade de um ou de outro. Deve haver uma

flexibilidade na acústica dos ginásios de esportes, como ocorre em auditórios multifuncionais, onde mudanças significativas no tempo de reverberação são possíveis para um determinado evento.

O valor da definição ( $D_{50}$ ) para ambientes onde predomina a palavra falada (conferências), de acordo com Ribeiro (2002), deve ser igual ou superior a 0,65 em todas as frequências. Segundo Mehta et al (1999) o valor da clareza  $C_{80}=1$  é considerado valor suficiente para execução musical, enquanto  $C_{80} = -4$  é considerado o valor mínimo admissível para sala de música.

Os valores de STI e de % Alcons foram analisados de acordo com as recomendações da norma IEC 60268 (2003) e com os valores obtidos por Tisseyre, Moulinier e Rourd, (1998) e por Fernandez et al., (1998), e estão reunidos e mostrados na tabela 5.1.

**Tabela 5.1 – Valores de STI e %Alcons e a qualidade da inteligibilidade.**

<b>STI</b>	0 - 0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.60	0.60 - 0.75	0.75 - 1.00
<b>Inteligibilidade</b>	Ruim	Pobre	Aceitável	Bom	Excelente
<b>%Alcons</b>	100 - 33	33 - 15	15 - 7	7 - 3	3 - 0

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998; FERNANDEZ et al., 1998]

Para a análise do ruído de fundo, usou-se para fins de comparação os valores de NC que segundo a norma NBR 10152 (ABNT, 1987), recomenda para locais como pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas valores de NC entre 40 e 55. O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para o conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Os níveis superiores aos estabelecidos são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

A audição de música deve propiciar a sensação de “clareza”, balanço tonal e preenchimento do ambiente em todos os pontos do ambiente, livre de anomalias como ecos e vibrações. A audição da palavra falada requer um som claro, inteligível com vogais e consoantes bem definidas. E os espetáculos que exigem som amplificado precisam de um ambiente que assegure o seu controle por parte do operador, principalmente nas baixas frequências.

## **6. RESULTADOS E ANÁLISES**

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização dos ginásios de esportes, dos parâmetros acústicos obtidos pela medição, com as respectivas análises. Optou-se pela apresentação individualizada de cada edificação.

### **6.1. Ginásio Multidisciplinar da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.**

O Ginásio Multidisciplinar da Unicamp é considerado o maior ginásio da cidade de Campinas e tradicionalmente é local de shows, eventos, palestras, congressos e feiras. Desde sua inauguração não foi utilizado para fins esportivos, o que seria sua principal função. Em se tratando de um espaço amplo e coberto, a edificação tornou-se um local de eventos da Unicamp. O ginásio tem capacidade para 3024 pessoas sentadas na arquibancada e mais de 5000 pessoas no total.

O ginásio Multidisciplinar da Unicamp está localizado na região norte da Universidade (Unicamp), próximo à Faculdade de Educação Física da Unicamp, à Biblioteca Central e ao Restaurante Universitário I. O local de implantação está próximo a avenidas movimentadas de grande fluxo de carros, ônibus e pessoas. A figura 6.1. mostra uma vista aérea da implantação do ginásio.



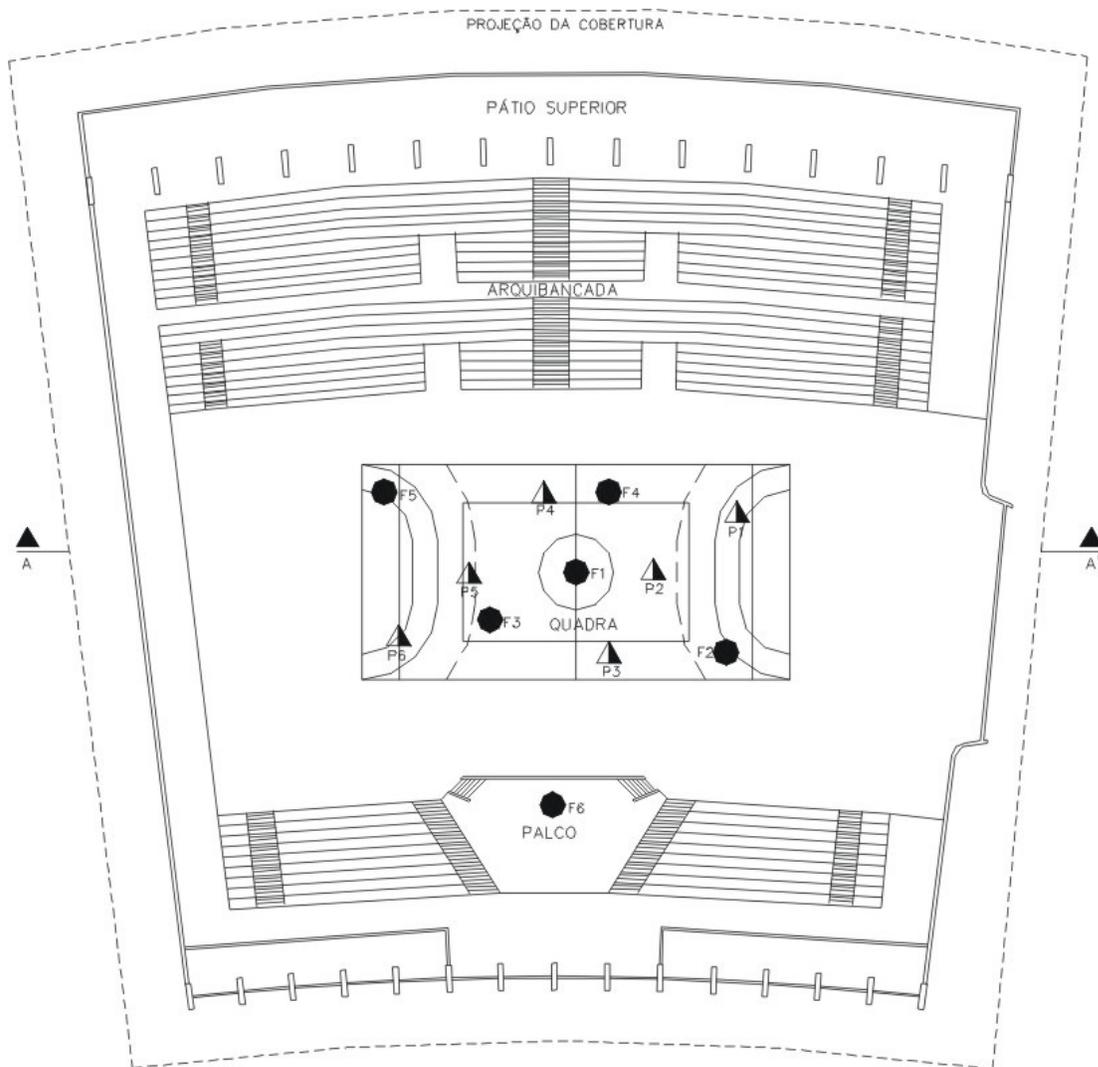
**Figura 6.1. – Foto aérea do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp.**

A edificação tem como características arquitetônicas e construtivas a forma em leque, tendo no comprimento maior 88,75m e menor 69,34m, e largura de 83,41m. Sua área total em planta é de 6.746,50m<sup>2</sup> e seu volume é de 76.731,70m<sup>3</sup>. As alturas das paredes laterais chegam a 20m. A quadra tem dimensões de 76m de comprimento e 35m de largura. Os materiais construtivos utilizados no ginásio são variados: piso em madeira, arquibancadas em concreto, paredes de alvenaria em blocos de cimento, estrutura vertical em concreto armado. A cobertura tem formato plano em estrutura metálica treliçada tubular, recoberto com telha metálica. (figura 6.2)



**Figura 6.2. – Interior do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp.**

A figura 6.3. apresenta a vista em planta e corte do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp. Nessa figura também é possível identificar a localização dos pontos de geração e captação dos sinais sonoros. O símbolo “●” representa a fonte sonora e o símbolo “▲” representa o microfone.



PLANTA BAIXA

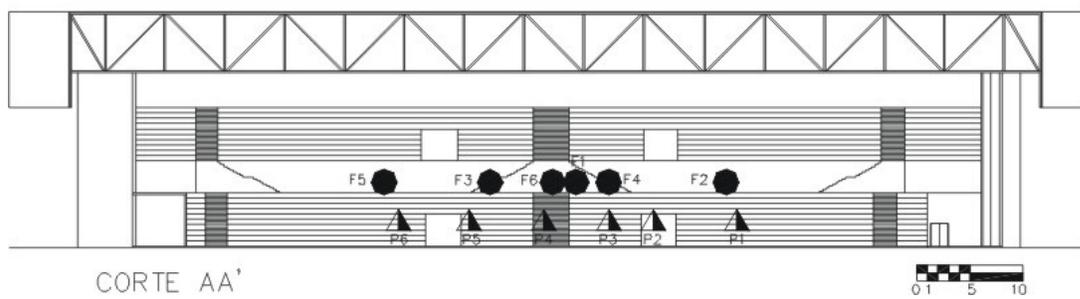


Figura 6.3. – Planta Baixa e Corte do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp.

### **6.1.1. Resultado dos parâmetros acústicos**

Os parâmetros acústicos medidos foram: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ), espectro sonoro e índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (% Alcons), cujos resultados são apresentados nos itens subseqüentes.

#### **6.1.1.1. Tempo de Reverberação – TR**

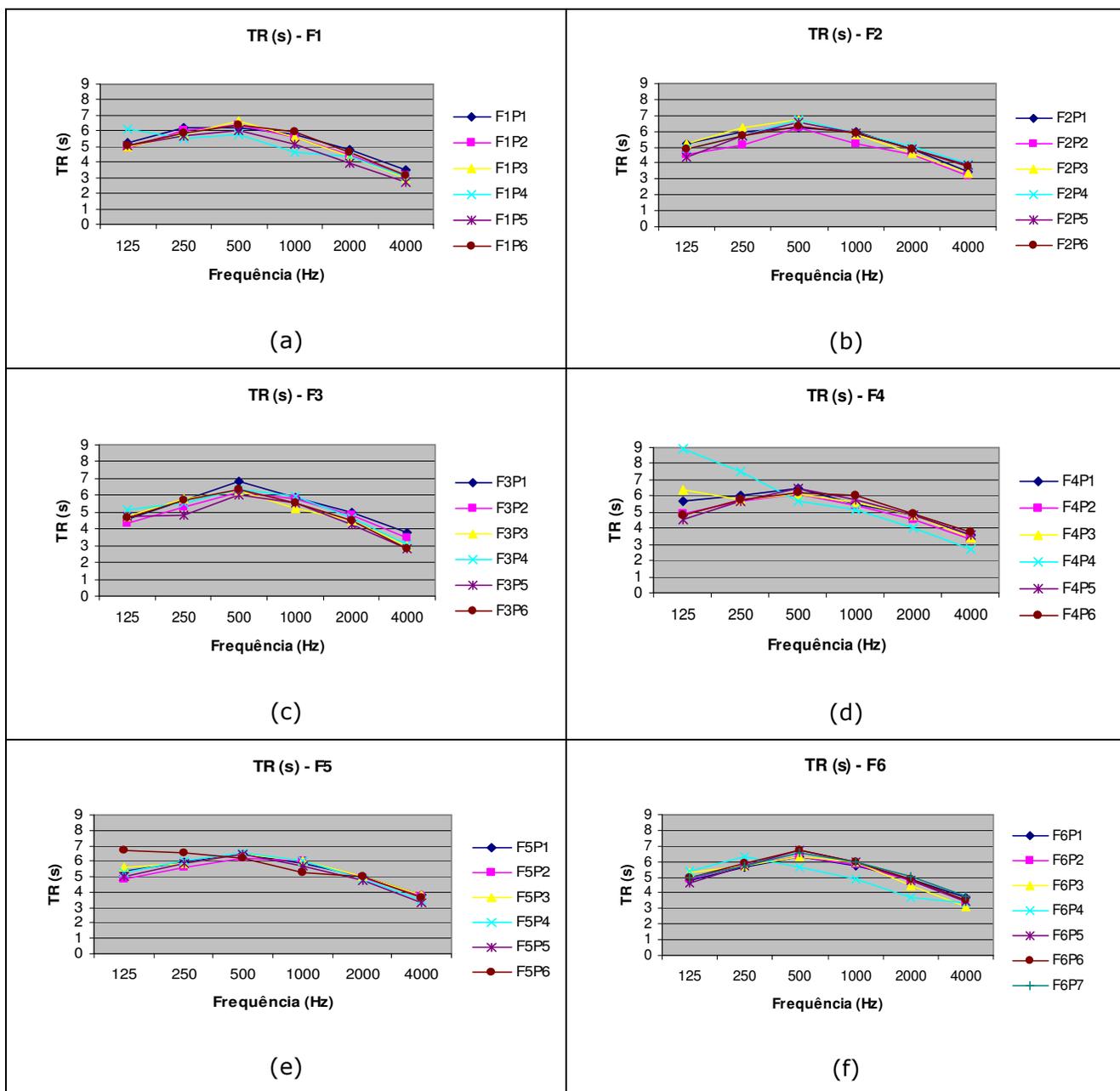
Nesse item são apresentados os gráficos dos resultados do tempo de reverberação (TR) em função da freqüência. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “B”. Na figura 6.4, cada gráfico representa uma posição de fonte e os respectivos pontos receptores.

Os gráficos de TR têm como característica uma parábola “invertida”, onde os valores mais elevados estão entre 5,5 e 7s para a freqüência de 500Hz (freqüência da fala) e os valores mais baixos estão entre 3 e 4s para a freqüência de 4000Hz. O comportamento das curvas de TR no ginásio de esportes revelou-se semelhante na maioria dos pontos medidos. Para a freqüência de 125Hz algumas posições de fontes demonstram variações. As curvas têm comportamentos similares, independentemente da localização das fontes de excitação.

A figura 6.4 “a”, “d”, “e” e “f” mostra que o comportamento das curvas de alguns pontos de medição, como os pontos “F1P4”, “F4P4”, “F5P6” E “F6P4”, apresenta variações na freqüência de 125Hz e 250Hz. Os pontos apresentam valores superiores aos demais pontos com diferença entre 1 e 4s. A partir de 500Hz essas variações praticamente desapareceram, com exceção ao ponto “F6P4”, o que revela um equilíbrio do ambiente em termos de seus tempos de reverberação. O ponto “P4” apresenta maior alteração em relação os demais pontos de medição, provavelmente, por estar

localizado próximo à área central da arquibancada e/ou em alguns casos, onde o comportamento da curvatura sofreu maior alteração.

Os valores encontrados indicam que o comportamento do tempo de reverberação depende da posição do ouvinte, mas sim das características do ambiente. A elevação na frequência de 500Hz obtida mostra que para a palavra falada e execuções musicais os valores de TR estão inadequados quando comparados com às recomendações de Marshall e Klepper (1999), Egan (1988) e Cooper (1976), muito acima de 0,8 e 1,8s para as frequências de 500 e 1000Hz. Esse resultados comprova a ausência de materiais acústicos absorventes na superfície interna da edificação e a necessidade de correção para reduzir o tempo de reverberação para qualquer das atividades propostas.



**Figura 6.4. – Tempo de Reverberação em função da freqüência para as diferentes posições de fontes.**

O ginásio Multidisciplinar da Unicamp está acusticamente deficiente em relação ao tempo de reverberação. A análise do tempo de reverberação (TR) contribuiu para

identificar a importância e a influência da absorção sonora e do volume nesse ginásio de dimensões amplas

#### **6.1.1.2. Tempo de Decaimento Inicial – EDT**

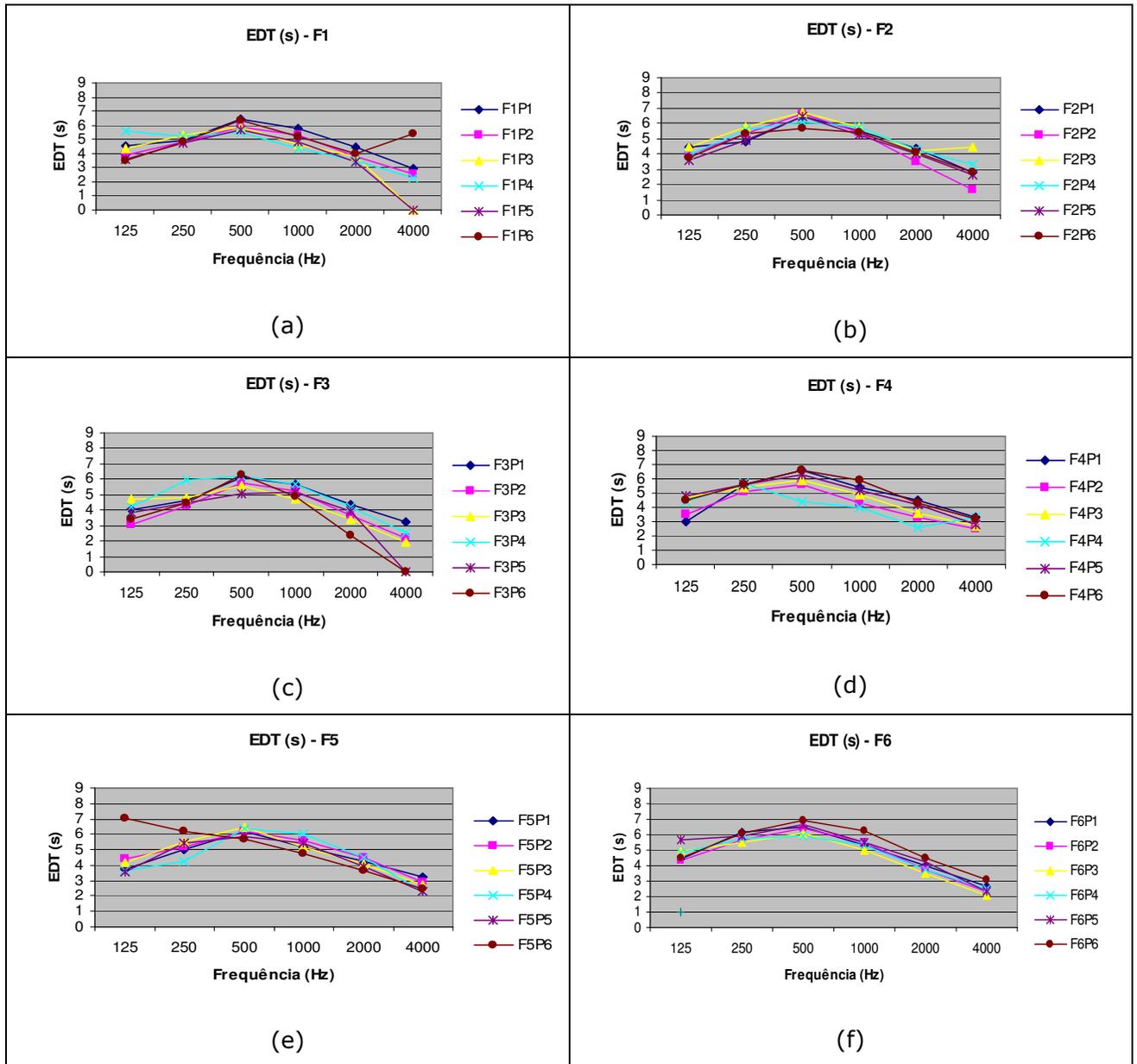
Na seqüência são apresentados os resultados de tempo de decaimento inicial (EDT) em função da freqüência para os vários pontos de fontes. Os resultados de EDT medidos em cada ponto estão contidos no apêndice “C”.

O comportamento das curvas de EDT, a exemplo das curvas de TR, pouco se alteram com as posições das fontes. Comparando os resultados de EDT, na figura 6.5, com os resultados de TR, na figura 6.4, verifica-se que, abaixo da freqüência de 2000Hz, os valores destes dois parâmetros se aproximam, revelando que a percepção da reverberação pelo ouvinte está próximo dos valores de TR no ambiente, ou seja, o comportamento dos pontos de medição do parâmetro EDT são similares no seu todo ao do parâmetro TR. Acima de 2000Hz, alguns comportamentos de EDT apresentam variações em relação aos pontos de medição.

O comportamento das curvas de EDT apresenta-se igualmente com característica de uma parábola “invertida” onde os valores mais elevados estão entre 5 e 7s para a freqüência de 500Hz, e os valores baixos estão entre 2 e 5s para a freqüência de 4000Hz. As mesmas variações para as freqüências abaixo de 2000Hz em alguns comportamentos dos pontos de medição encontrados nos gráficos de TR da figura 6.4 “a”, “d”, “e” e “f” se repetem para o parâmetro EDT. Os valores de EDT para a palavra falada e execução musicais também se mostram inadequados para os diversos tipos de atividades.

Pela análise dos resultados de EDT por pontos, foram identificadas algumas diferenças significativas no comportamento dos pontos de medição. Possivelmente, isso se deve pela distância entre os pontos de medição, limitado ao tamanho da quadra

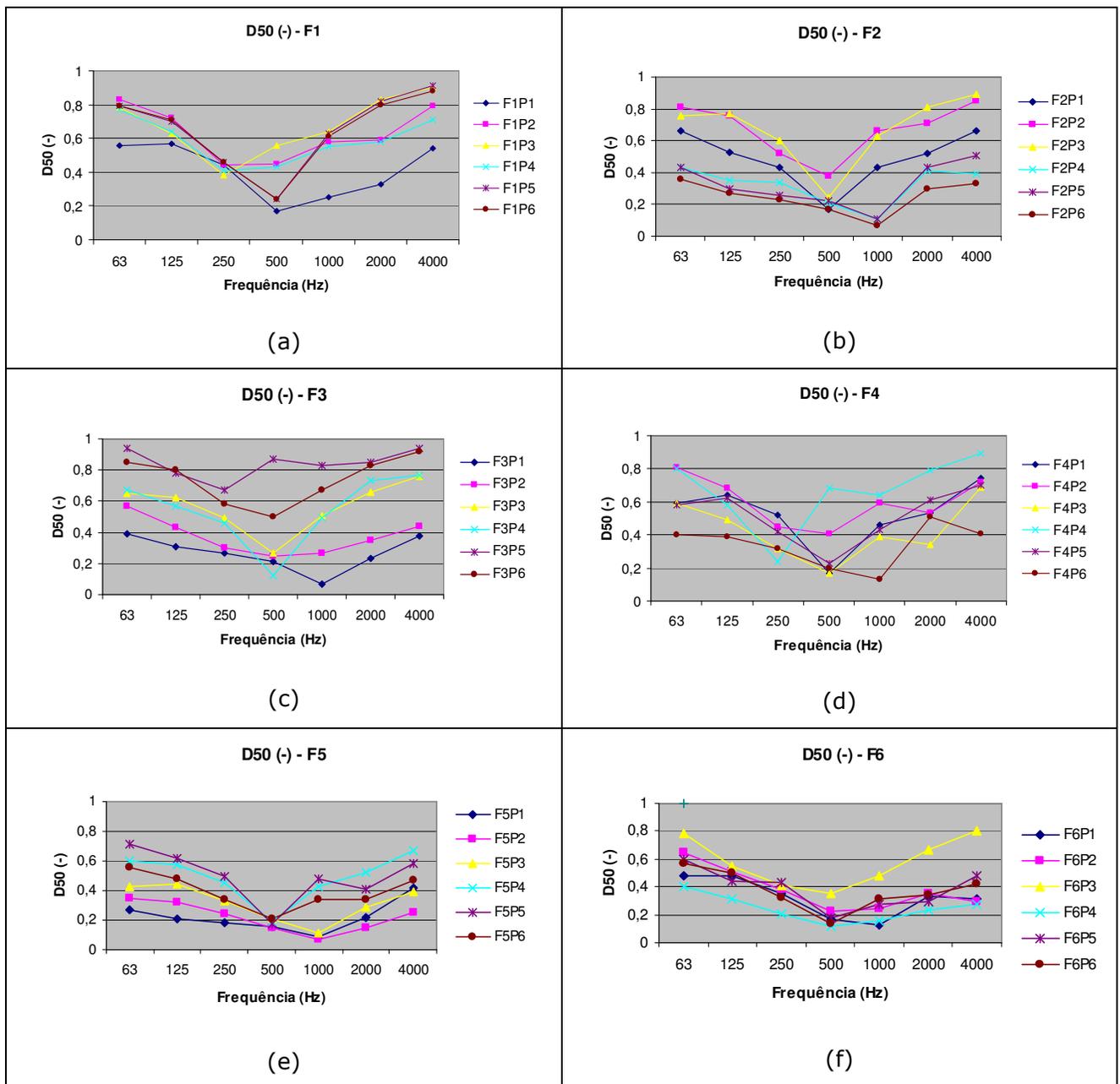
avaliada, além do ginásio não apresentar qualquer tipo de material com características de absorção sonora, o que poderia alterar ainda mais os valores, não apenas de EDT, mas dos demais parâmetros acústicos ( $D_{50}$ ,  $C_{80}$ , STI e %Alcons), em pontos diferentes.



**Figura 6.5. – Tempo de Decaimento Inicial em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

### **6.1.1.3. Definição – D<sub>50</sub>**

Nesse item são apresentados os resultados do parâmetro definição (D<sub>50</sub>) para as diferentes posições de fonte. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “D”. Esse parâmetro varia entre 0 e 1 e, quanto mais próximo do valor 1, melhor é a qualidade do ambiente em relação à inteligibilidade da fala (MEHTA et al, 1999). São recomendados valores superiores a 0,65.



**Figura 6.6. – Definição em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

O ginásio Multidisciplinar da Unicamp é inadequado para a palavra falada, uma vez que não apresenta, em nenhum dos pontos medidos, valores de definição iguais ou superiores a 0,65 em todas as frequências (RIBEIRO, 2002). Em algumas posições do

ambiente, em determinadas frequências, esses valores atendem um valor mínimo de 0,1 e no máximo 0,9. Os baixos valores de  $D_{50}$  verificados implicam sério comprometimento da inteligibilidade da palavra falada.

O comportamento das curvas dos pontos de medição para  $D_{50}$  apresenta grande dispersão em seus valores. Os gráficos apresentam como característica um parábola “positiva”, onde os menores valores estão localizados em 500Hz (palavra falada) e os maiores valores estão divididos entre 125Hz e 4000Hz. Sendo o gráfico de  $D_{50}$  uma parábola “positiva” e o gráfico de TR uma parábola “invertida”, fica claro que o elevado tempo de reverberação é responsável pelos baixos valores de definição. Todos os pontos de medição do ginásio Multidisciplinar da Unicamp apresentam uma baixa inteligibilidade da fala.

O comportamento das curvas de  $D_{50}$  para as diferentes posições de fonte e ouvinte demonstra que a maioria das posições está desfavorecida para fala. Ressalte-se, no entanto, que o comportamento dos pontos de medição para  $D_{50}$  mais próximos das fontes sonoras tem melhores desempenho que os pontos mais distantes. A qualidade da comunicação em relação aos pontos de medição decresce quando se afasta da fonte sonora. O parâmetro  $D_{50}$ , em relação à distancia fonte/ponto é mais sensível que o parâmetro TR.

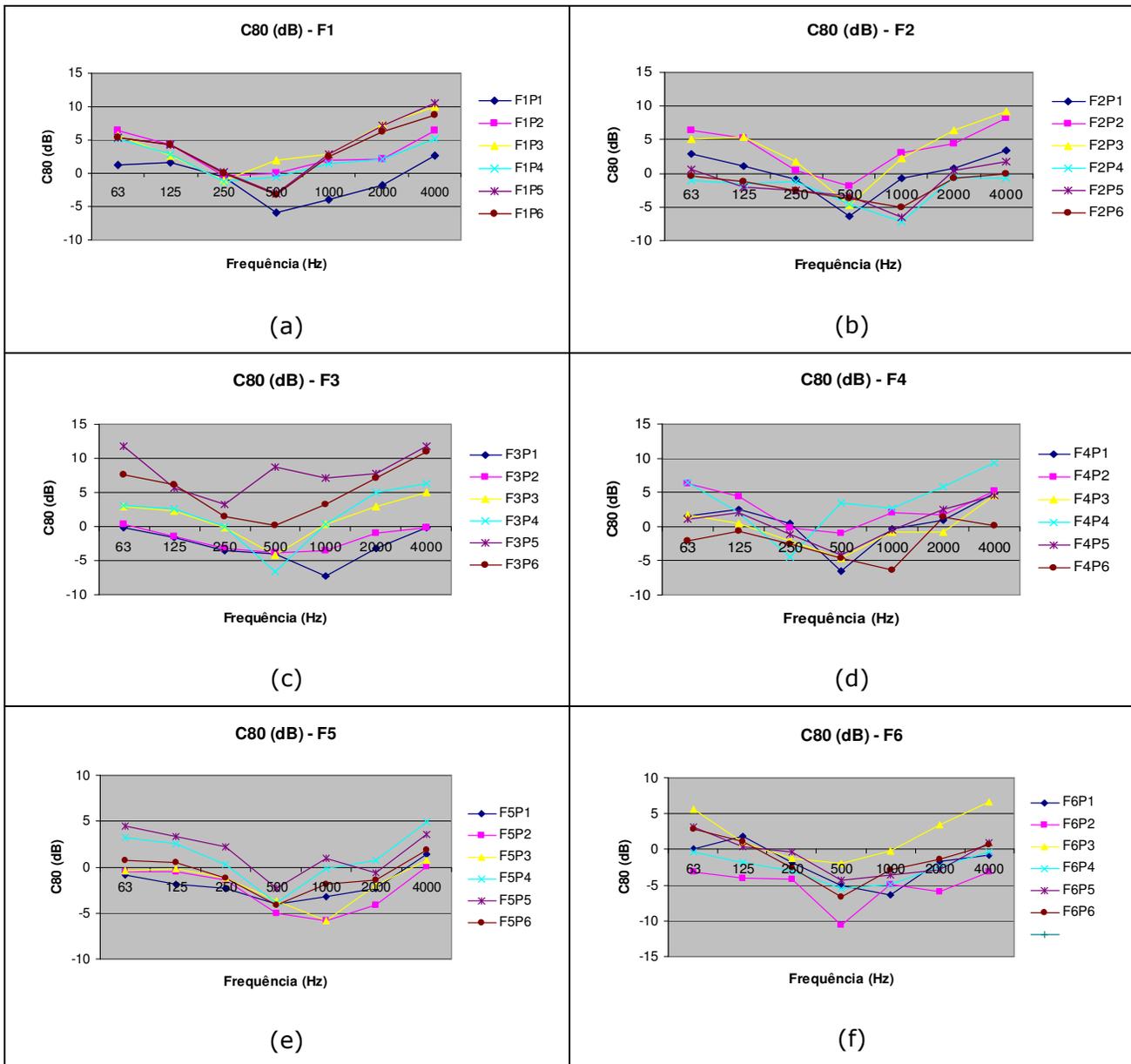
O parâmetro  $D_{50}$ , até o momento, foi pouco pesquisado em ginásios de esportes, por isso pouco se fala sobre como e quais os fatores que o influenciam, contudo esse é um parâmetro que merece uma avaliação mais aprofundada.

#### **6.1.1.4. Clareza – $C_{80}$**

Nesse item são apresentados os gráficos dos resultados do parâmetro clareza ( $C_{80}$ ) para as diferentes posições de fonte. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “E”. Nesse parâmetro recomenda-se que os valores de

comparação atendam a faixa de -4 a +4 para que se tenha um resultado adequado para a execuções musicais (BERANEK, 1996).

Em relação ao parâmetro clareza, o comportamento de  $C_{80}$  do ginásio revelou-se bastante disperso e irregular com a freqüência nos diversos pontos medidos, confirmando a inadequação do ambiente para atividades musicais. Nota-se um evidente excesso de reflexões que chegam aos pontos medidos, em até 80ms após a chegada do som direto, porém de forma irregular. A causa mais provável deste fenômeno pode ser creditada às reflexões provenientes das grandes superfícies duras e lisas do piso (madeira), das paredes (alvenaria), do teto (telha metálica), das arquibancadas (alvenaria) e das estruturas de sustentação (alvenaria). A intervenção nessas superfícies seria fundamental para a adequação do ginásio.



**Figura 6.7. – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

Os gráficos de  $C_{80}$  têm característica de uma parábola “positiva”, onde os menores resultados de  $C_{80}$  (-10dB) estão localizados para frequência de 500Hz (palavra falada) e os maiores resultados (12dB) estão para a frequências de 125Hz e 4000Hz. Para esse parâmetro segue a mesma analogia do  $D_{50}$ , de que uma parábola “positiva”

de  $C_{80}$  e reflete o comportamento do gráfico de TR (uma parábola “invertida”), isto é, elevado tempo de reverberação reflete a baixa clareza.

Pelos valores de  $C_{80}$  encontrados, o Ginásio multifuncional tem comportamento inadequado para musica, pois, segundo Metha et al (1999) para o ambientes multifuncionais, o valor de  $C_{80}$  deveriam ser igual a 1dB, próximo disso é considerado valor suficiente, embora valores de  $C_{80}$  entre -4dB e 4dB são considerados aceitáveis.

O comportamento de  $C_{80}$  para as diversas posições de fonte sonora é muito disperso e indica que o ginásio tem baixa clareza para execuções musicais. Para as posições de ouvinte mais distante da fonte sonora, os resultados estão dentro da faixa de recomendação por Beranek, (1996).

#### 6.1.1.5. Espectro Sonoro

Na figura 6.8 estão representados os valores do nível de pressão sonora em função de freqüência (espectro sonoro). Os espectros foram medidos em 7 pontos com 3 medições para cada ponto, totalizando 21 medições. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “F”.

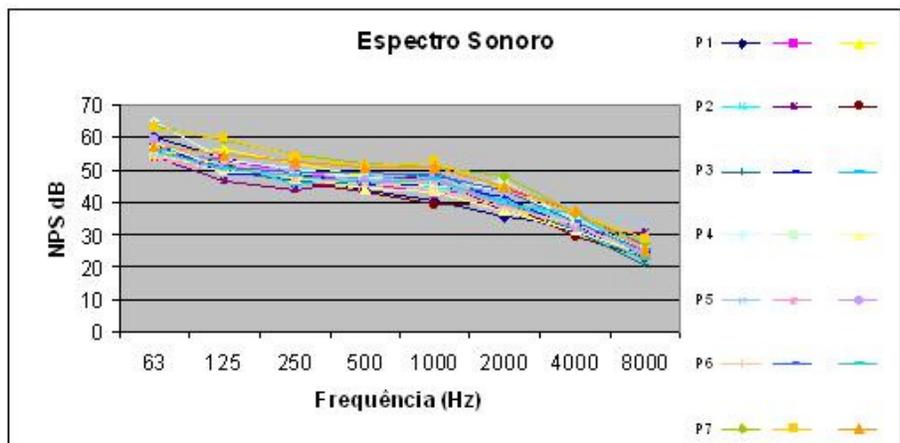
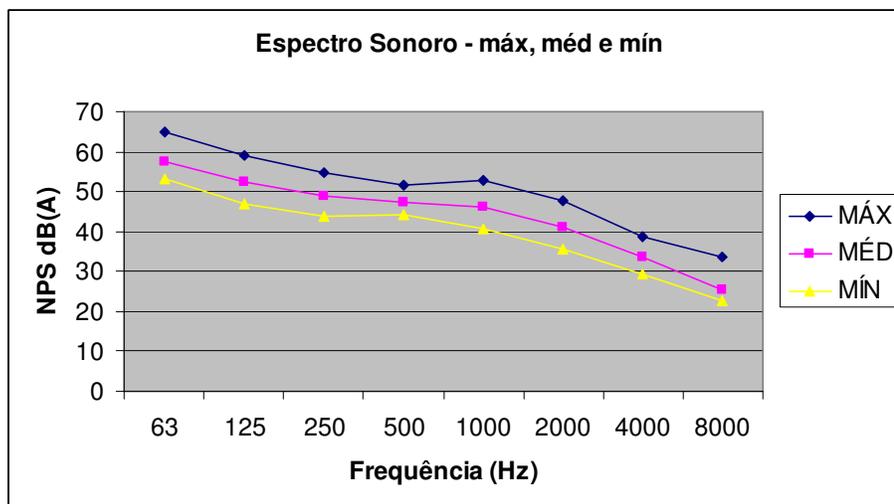


Figura 6.8. – Espectro Sonoro em função da freqüência para 7 pontos de medição.

O nível de ruído medido revela que ruídos incidentais extra-muros (trânsitos de veículos, por exemplo) não interferem na avaliação acústica. Os resultados de NPS variam em função das diversas posições de medição, aproximadamente 10dB. A figura 6.9 representa o espectro sonoro com os valores máximos e mínimos atingidos pelos diversos pontos de medição e a média aritmética entre estes.

Analisando os dados da figura 6.8 e da figura 6.9, nota-se que os níveis de ruído de fundo diminuem com o aumento da freqüência. Para a figura 6.8, nas freqüências de 63, os valores de NPS são mais altos e variam entre 50 e 65dB. Na freqüência relativa à fala (500Hz) os valores variam entre 40 e 55dB e na freqüência de 8000Hz os valores são menores e variam entre 20 e 35dB.



**Figura 6.9. – Espectros Sonoros máximo, médio e mínimo.**

Os ginásios, dependendo de suas atividades podem ser considerados fonte de ruído, interferindo nas edificações próximas. Verificamos *in loco* que os problemas da interferência dos ruídos internos no meio exterior decorrem primordialmente,

- Da abertura, para a circulação de ar, existente em todo o perímetro da edificação, na ligação das paredes com a cobertura.
- Da falta de isolamento sonoro adequado na cobertura e nas paredes do ginásio.

- Da deficiência na vedação das portas, ou seja, ausência de portas adequadas (portas acústicas).

#### **6.1.1.6. Classificação da Curvas NC**

Nesse item é apresentada a classificação de NC em relação ao espectro sonoro com máximo, médio e mínimos comportamentos dos pontos de medição. De acordo com a norma NBR 10152 (ABNT, 1987) o nível para conforto acústico de ambiente deverá ser analisado de acordo com o nível de pressão sonora medido em dB(A) ou pela classificação do NC.

O intervalo de valores para ruído de fundo na classificação NC considerado aceitável pela norma NBR 10152 em pavilhões fechados para espetáculos à atividade esportiva varia entre 40 e 55. A classificação de NC para o ginásio Multidisciplinar da Unicamp considerando o espectro sonoro máximo foi de 55, para o espectro médio o valor de NC foi de 45 e para espectro sonoro mínimo o valor de NC foi de 40. Estes resultados comprovam que o NC para o ginásio de esportes está de acordo com a recomendação da norma NBR 10152 (1987), em relação ao nível de ruído de fundo.

#### **6.1.1.7. Índice de Transmissão da Fala – STI.**

Os resultados do STI para cada conjunto fonte/receptor são apresentados na tabela 6.1. Considerando a media aritmética de todos os valores de STI, o resultado foi 0,53 que corresponde a classificação aceitável. O valor de STI variou de 0,39 (pobre) a 0,78 (excelente). Todos os pares fonte/receptor se encontravam no interior da quadra e os resultados mostram a necessidade de melhorar a distribuição sonora nesse espaço.

Observou-se que para a distância entre fonte/receptor iguais ou superiores a 20m o valor de STI diminui consideravelmente, conseqüentemente reduzindo a

inteligibilidade da fala, dificultando a compreensão da palavra falada com perdas consonantais bastantes significativas. A correção do tempo de reverberação é um dos fatores que poderá melhorar esse desempenho.

**Tabela 6.1 – Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALCons) medidos nos seis pontos de medição do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

<b>PONTOS</b>		<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
<b>P01</b>	<b>STI</b>	0,47 (Aceitável)	0,53 (Aceitável)	0,42 (Pobre)	0,57 (Aceitável)	0,42 (Pobre)	0,40 (Pobre)
	<b>DIST.(m)</b>	16,01	13,19	25,25	12,17	33,17	32,43
	<b>% ALC</b>	13,2	9,8	17,8	7,8	17,2	19,4
<b>P02</b>	<b>STI</b>	0,64 (Bom)	0,63 (Bom)	0,46 (Aceitável)	0,61 (Bom)	0,40 (Pobre)	0,43 (Pobre)
	<b>DIST.(m)</b>	7,24	10,35	16,04	8,35	26,27	24,01
	<b>% ALC</b>	5,5	5,5	13,8	6,3	19,9	16,2
<b>P03</b>	<b>STI</b>	0,69 (Bom)	0,68 (Bom)	0,57 (Aceitável)	0,52 (Aceitável)	0,41 (Pobre)	0,53 (Aceitável)
	<b>DIST.(m)</b>	8,09	11,02	11,54	15,00	25,86	15,23
	<b>% ALC</b>	4,1	4,2	7,9	10,1	18,5	9,5
<b>P04</b>	<b>STI</b>	0,61 (Bom)	0,43 (Pobre)	0,59 (Aceitável)	0,66 (Bom)	0,54 (Aceitável)	0,39 (Pobre)
	<b>DIST.(m)</b>	7,84	22,76	12,96	6,10	14,97	29,31
	<b>% ALC</b>	6,4	16,3	6,9	4,9	9,4	21,1
<b>P05</b>	<b>STI</b>	0,68 (Bom)	0,46 (Aceitável)	0,78 (Excelente)	0,54 (Aceitável)	0,55 (Aceitável)	0,44 (Pobre)
	<b>DIST.(m)</b>	10,08	25,27	4,83	15,14	10,95	23,12
	<b>% ALC</b>	4,2	13,8	2,5	9,2	8,8	15,5
<b>P06</b>	<b>STI</b>	0,66 (Bom)	0,42 (Pobre)	0,72 (Bom)	0,44 (Pobre)	0,49 (Aceitável)	0,43 (Pobre)
	<b>DIST.(m)</b>	17,69	30,79	8,87	23,85	13,47	21,49
	<b>% ALC</b>	4,7	18	3,4	15,7	12,1	17

## 6.2. Clube Campineiro de Regatas e Natação

Localizada às margens do Rio Atibaia, em Sousas, SP, a primeira sede do Clube Campineiro de Regatas e Natação foi fundada em 28/04/1918. Em 02/04/1935 foi fundada a segunda sede do clube, com terreno de 11.900m<sup>2</sup> em Campinas no bairro Cambuí (localizado no quarteirão das ruas Cel. Silva Teles, Maria Monteiro, Guilherme da Silva e Cel. Quirino). O Clube possui, portanto, duas sedes – Campinas e Sousas. Mais de 20 tipos de esportes são praticados e muitos eventos são realizados em suas instalações.

O ginásio de esportes da sede do Clube Campineiro de Regatas e Natação do bairro Cambuí (Ginásio de Esportes) foi o objeto de estudo desta pesquisa. O ginásio de esportes tem capacidade para 3000 pessoas e é utilizado para várias atividades como festas comemorativas, eventos esportivos (prática de esportes como basquete, voleibol e ginástica olímpica e rítmica) e shows musicais. A figura 6.10 mostra uma vista da implantação do ginásio inserido na paisagem urbana.



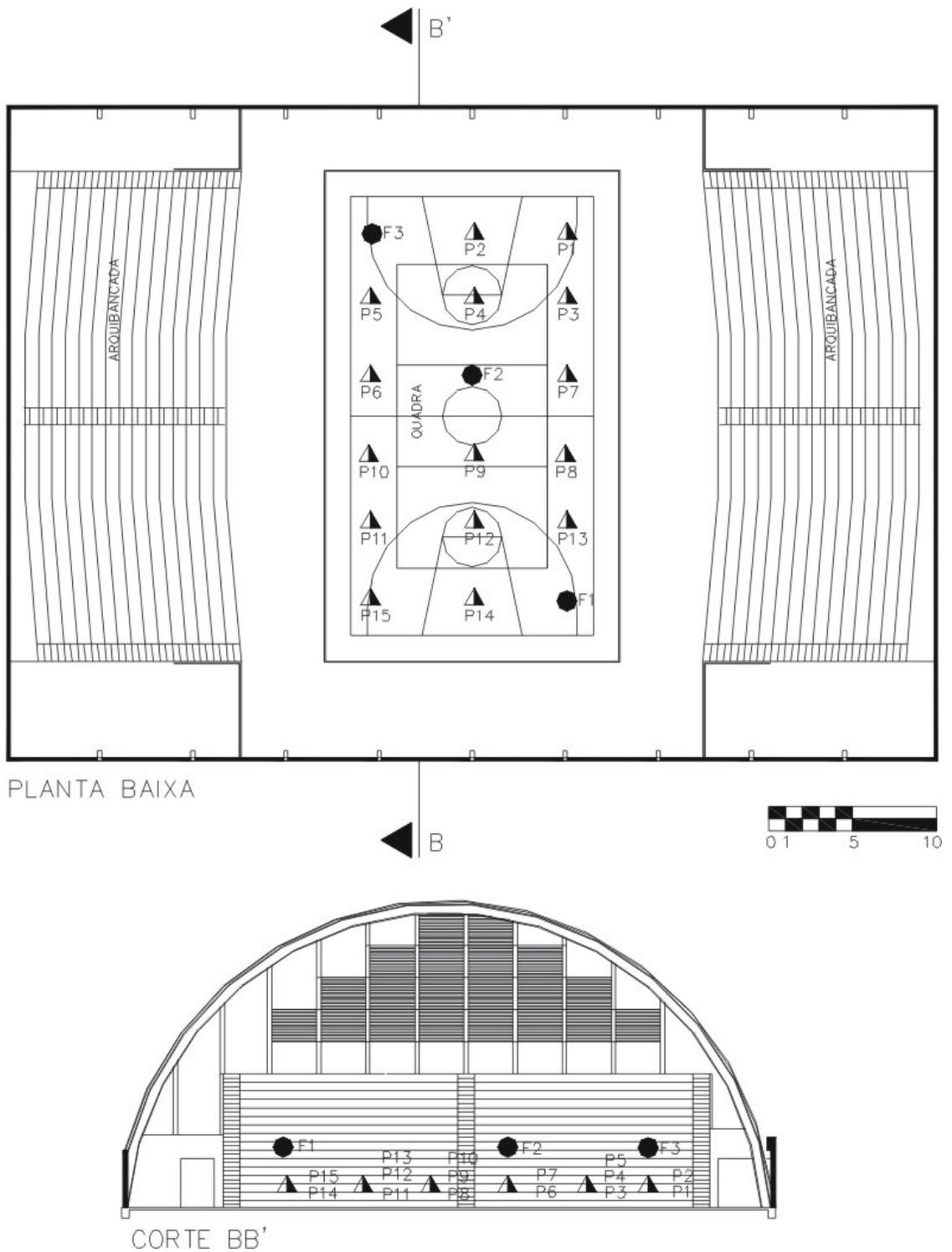
**Figura 6.10 – Foto aérea do Ginásio de Esportes do Clube Regatas e Natação de Campinas.**

A forma do ginásio de esportes é retangular com 55,50m de comprimento por 38,80m de largura. O teto tem forma elíptica sendo a altura na parte central da cobertura de 18metros. Sua área total em planta é de 2153,40m<sup>2</sup> e seu volume de 28107,40m<sup>3</sup>. Os materiais construtivos utilizados são: piso em madeira lisa nas quadras e pedra ardósia nas áreas de circulação (laterais à quadra); as paredes na área da quadra são em alvenaria pintada com altura de 3,40m, e nelas estão inseridas portas metálicas; as paredes da área superior da arquibancada são em “ripas” de madeira com janelas em telha de fibra transparente; as arquibancadas são de concreto armado; a estrutura de sustentação da cobertura (raridade pela utilização e curvatura atingida) é em madeira, recoberta com telha de amianto (figura 6.11).



**Figura 6.11. – Interior do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação.**

A figura 6.12 apresenta a planta e o corte do ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação. Nessa figura também estão marcados as posições onde foram colocados a fonte “●” e os microfones “▲” para a medição.



**Figura 6.12. – Planta Baixa e Corte do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação.**

### **6.2.1. Resultado dos parâmetros acústicos.**

Os parâmetros acústicos medidos foram: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ), espectro sonoro e índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (% Alcons), cujos resultados são apresentados nos itens subseqüentes.

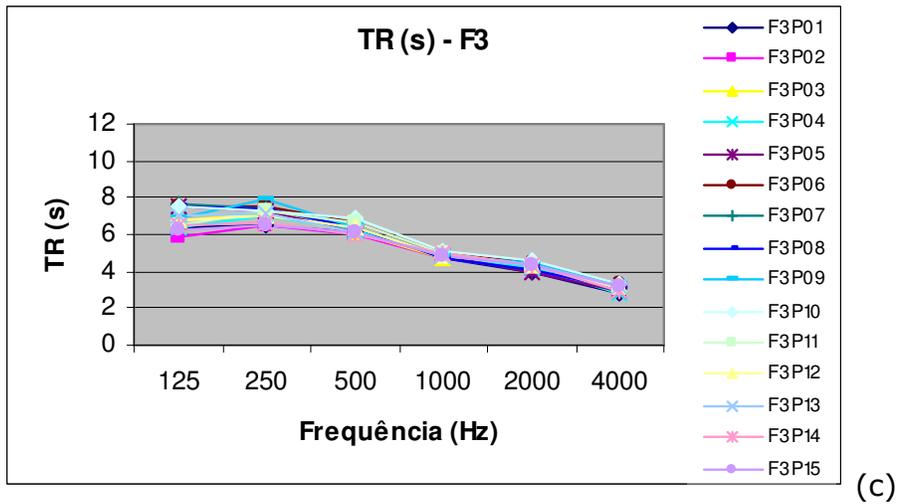
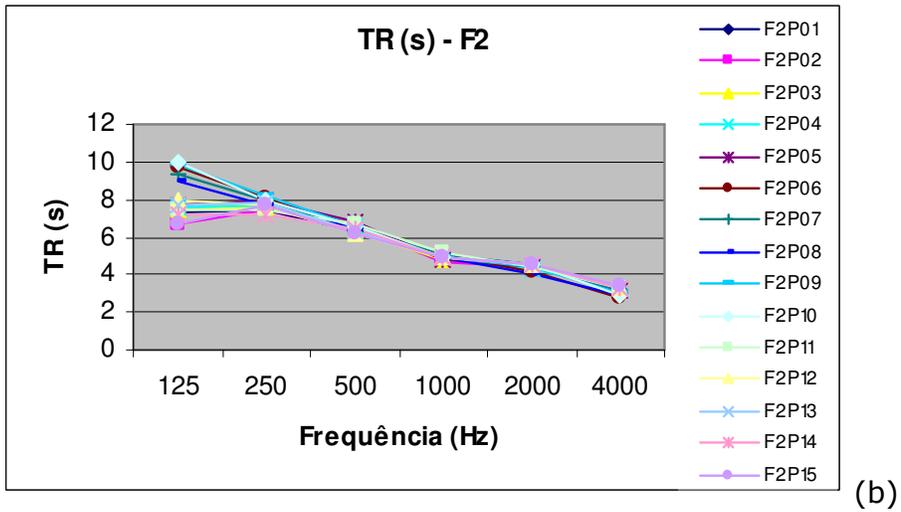
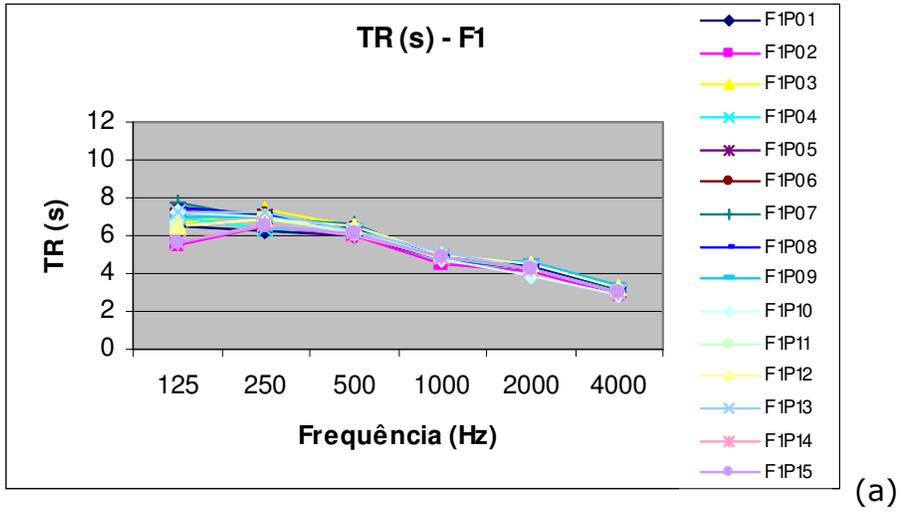
#### **6.2.1.1 Tempo de Reverberação – TR**

Nesse item são apresentados e analisados os resultados do tempo de reverberação (TR) em função da freqüência para cada fonte separadamente. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “G”. Nesse caso foram três posições de fonte. Para cada fonte foram avaliados quinze pontos de microfones.

O comportamento de TR em função da freqüência no ginásio de esportes revelou-se similar na maioria dos pontos medidos com exceção da freqüência de 125Hz, onde algumas posições de fontes demonstram variações. As curvas têm comportamentos similares, independentemente da localização das fontes de excitação. O tempo de reverberação neste ginásio diminui conforme o aumento da freqüência. A elevação e a variação na freqüência de 125Hz são consideradas “comuns” em avaliações acústicas de ginásios de esportes, como mostrados nas pesquisas de Yuan e Yuan (1990), Duanqi, Zheng e Jinjing, (1991), Irvine e Richards (1990) e Knudsen e Harris (1988), pois esta é mais difícil de ser controlada.

Nos gráficos de TR das figuras 6.13 o tempo de reverberação independe da posição do ouvinte ou da fonte sonora para freqüências acima de 250Hz variando somente na freqüência de 125Hz. Essa variação esta separada em dois blocos: um variando de 6 a 8s e um mais elevado variando de 8 a 10s. Provavelmente, isso se deve pela localização dos pontos de medição próximos à arquibancada e a distância

entre os pontos. Os valores mais baixos de TR estão entre 3 e 4s para a freqüência de 4000Hz. Os comportamentos de TR em função das freqüências obtidas mostram que para a palavra falada e para execução musicais os valores de TR estão inadequados e muito superior aos valores recomendados por Marshall e Klepper (1999), Egan (1988) e Cooper (1976), que são de 0,8 e 1,8s para as freqüências de 500 e 1000Hz. Esse comportamento comprova que o ginásio Multidisciplinar da Unicamp, não possui materiais acústicos absorventes na superfície interna da edificação.



**Figura 6.13. – Tempo de Reverberação em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

Observa-se que para a fonte “F2” (figura 6.13 “b”) o comportamento de TR dos pontos de medição é mais elevado que para as demais fontes. A explicação para isso é a concentração de raios acústicos na área central pela forma côncava da cobertura (concentração de raios), como é mostrado na figura 6.26, no estudo de traçados dos raios. As fontes “F1” e “F3” têm características de comportamento dos pontos de medição análogo por estarem localizados em pontos semelhantes (nas extremidades da quadra), mas em lados opostos. De qualquer forma os resultados de TR estão inadequados para os diversos tipos de atividades presentes e apontam para a necessidade de correção.

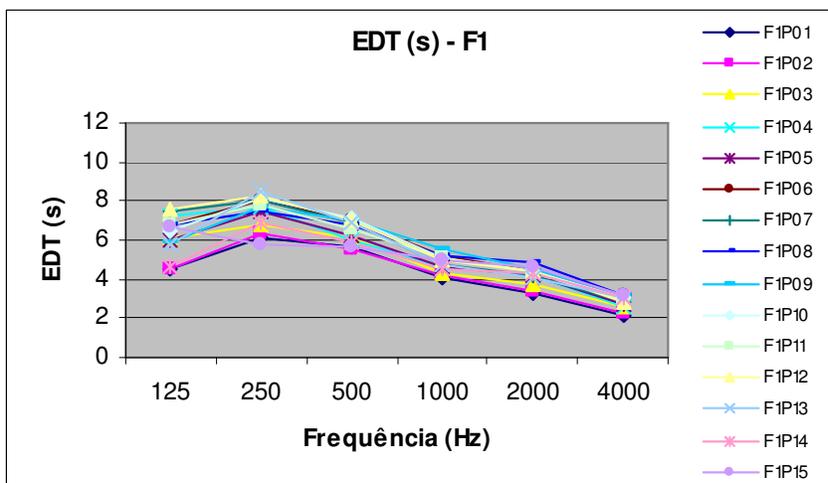
#### **6.2.1.2. Tempo de Decaimento Inicial - EDT**

A figura 6.14 apresenta os resultados dos tempos de decaimento inicial (EDT) em função de frequência para as três posições de fontes. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “H”.

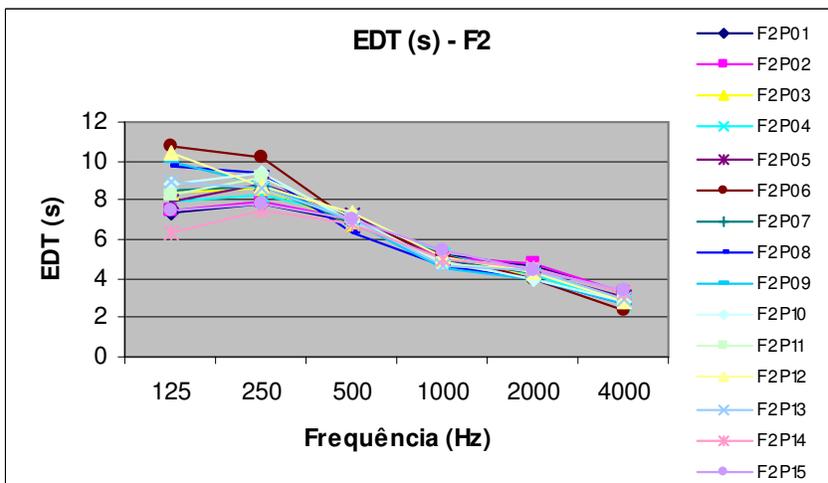
O comportamento das curvas de EDT, a exemplo das curvas de TR, pouco se alteram com as posições das fontes. Comparando os resultados de EDT da figura 6.14 com os resultados de TR da figura 6.13 verifica-se que o comportamento destes dois parâmetros se aproximam a distribuição dos pontos de medição, mas diferem quanto aos valores significando que percepção da reverberação pelo ouvinte difere da reverberação do ambiente. Para frequências inferiores a 500Hz, a dispersão dos valores de EDT aumentam.

Os valores de EDT com o aumento da frequência diminuem a partir de 250Hz. Os maiores valores de EDT estão entre 6 e 11s para a frequência de 250Hz e os menores valores estão entre 2 e 4s para a frequência de 4000Hz. Nota-se que para a fonte “F2” (figura 6.14 “b”) os valores de EDT são mais elevados que para as demais fontes, possivelmente pela localização na área central do ginásio, onde a concentração

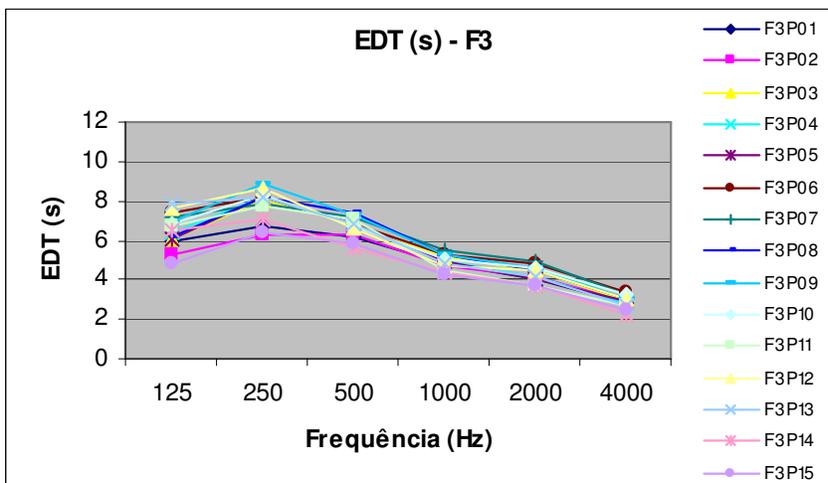
dos raios acústicos é maior, pela forma côncava da cobertura. Para as fontes “F1” e “F3” os valores de EDT são semelhantes por estarem localizados nas extremidades da quadra e terem características similares.



(a)



(b)



(c)

**Figura 6.14. – Tempo de Decaimento Inicial em função da freqüência para as diferentes posições de fontes.**

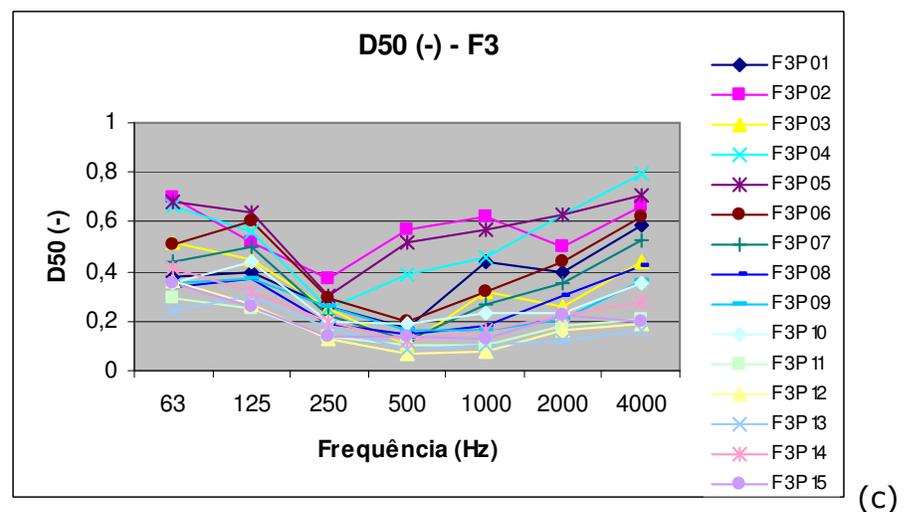
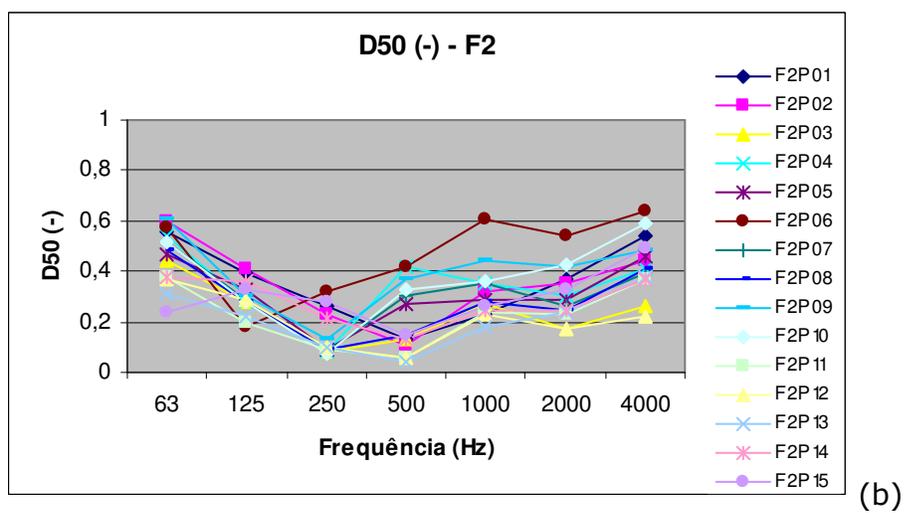
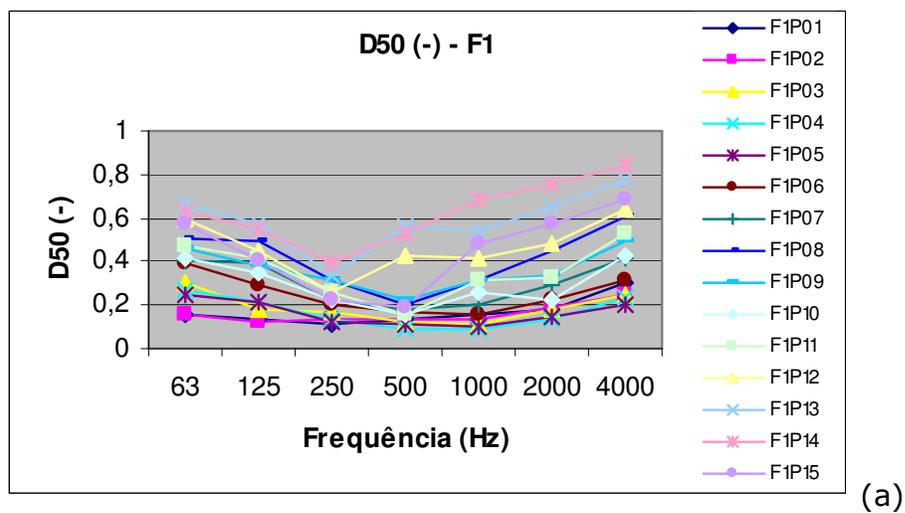
Os valores obtidos para EDT mostram que os resultados estão inadequadas para os diversos tipos de atividades presentes no ambiente indicando a necessidade de correção do ambiente.

### **6.2.1.3. Definição – $D_{50}$**

A figura 6.15 mostra os resultados do parâmetro Definição ( $D_{50}$ ) em função de frequência. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “I”. Os valores de  $D_{50}$  podem variar entre 0 e 1 e, quanto mais próximo do valor 1, melhor é a qualidade do ambiente em relação a inteligibilidade da fala (MEHTA et al, 1999). Para uma boa inteligibilidade da fala os valores de  $D_{50}$  devem ser maior ou igual a 0,65 para todas as frequências (RIBEIRO, 2002).

O ginásio do clube Regatas revelou inadequado para a palavra falada, uma vez que não apresenta, em nenhum dos pontos medidos, valores de definição iguais ou superiores a 0,65 em todas as frequências (RIBEIRO, 2002). Em algumas posições do ambiente, em determinadas frequências, esses valores variaram de 0,1 a 0,8. Os baixos valores de  $D_{50}$ , como ginásio anterior, implicam um sério comprometimento da inteligibilidade da palavra falada.

Nos gráficos de  $D_{50}$  da figura 6.15 verifica-se uma grande dispersão nos valores. O elevado tempo de reverberação foi um dos fatores responsável pelos baixos valores de definição. Considerando que a frequência preponderantes da fala é de 500Hz, para nenhuma situação nessa frequência o  $D_{50}$  atingem os 0,65. Esse resultados reforço que o ginásio esta inadequado para a fala.



**Figura 6.15. – Definição em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

O parâmetro  $D_{50}$ , até o momento, foi pouco pesquisado em ginásios de esportes e ainda não está claro sobre como e quais os fatores que influenciam esse parâmetro o que merece uma avaliação mais aprofundada.

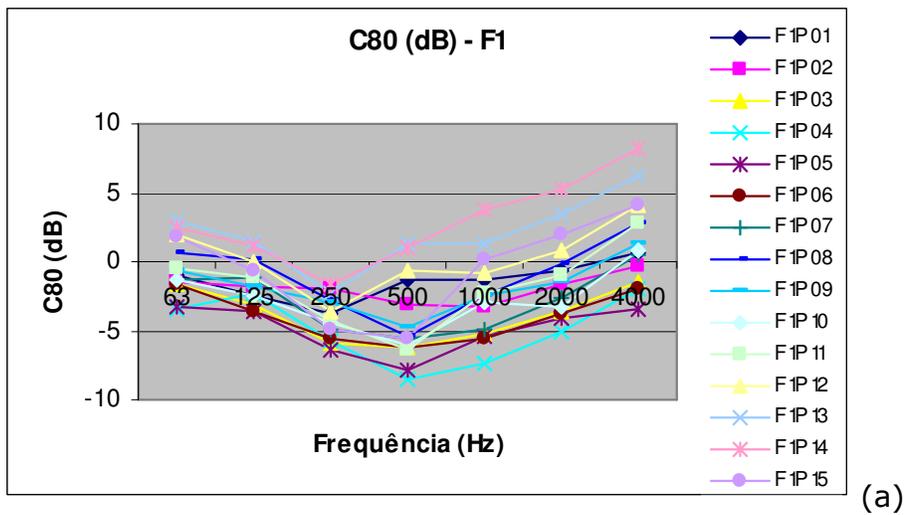
#### **6.2.1.4. Clareza – $C_{80}$**

Nesse item serão apresentados os resultados do parâmetro clareza ( $C_{80}$ ) para as diferentes posições de fonte. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “J”. Como comparação considerou-se que o  $C_{80}$  deve atender a faixa de -4 a +4 (BERANEK, 1996).

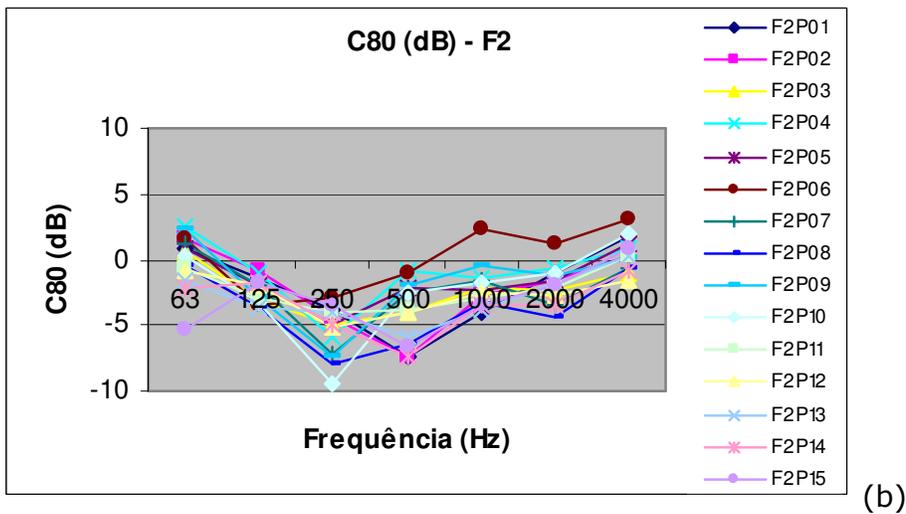
Analisando o comportamento da clareza ( $C_{80}$ ) em função da frequência o ginásio verificou-se uma dispersão e irregularidade para os diversos pontos medidos. Os valores ultrapassaram os limites de -4 e +4 e expressam a inadequação do ambiente para atividades musicais. Nota-se um evidente excesso de reflexões que chegam aos pontos medidos, em até 80ms após a chegada do som direto, porém de forma irregular. A causa mais provável deste fenômeno pode ser creditada às reflexões provenientes das grandes superfícies duras e lisas do piso (madeira), das paredes (alvenaria), do teto (telha de amianto), das arquibancadas (alvenaria) e das estruturas de sustentação (madeira) e principalmente da curvatura do teto. A intervenção nessas superfícies seria fundamental para a adequação do ginásio.

O comportamento das curvas de  $C_{80}$  tem a forma de uma parábola “positiva”, onde os menores resultados (-10dB) estão localizados na frequência de 500Hz (palavra falada) e os maiores resultados +4 e +9dB para as frequências de 63Hz e 4000Hz respectivamente. É provável que o elevado tempo de reverberação contribui para os baixos valores de clareza. Segundo Metha et al (1999), para ambientes multifuncionais o valor de  $C_{80}$  igual a 1dB é considerado valor suficiente, porém o valor mínimo admissível de  $C_{80}$  é -4dB. Com base nesses resultados pode-se dizer que o ginásio, como espaço de múltiplo uso e principalmente para execuções musicais não atende as

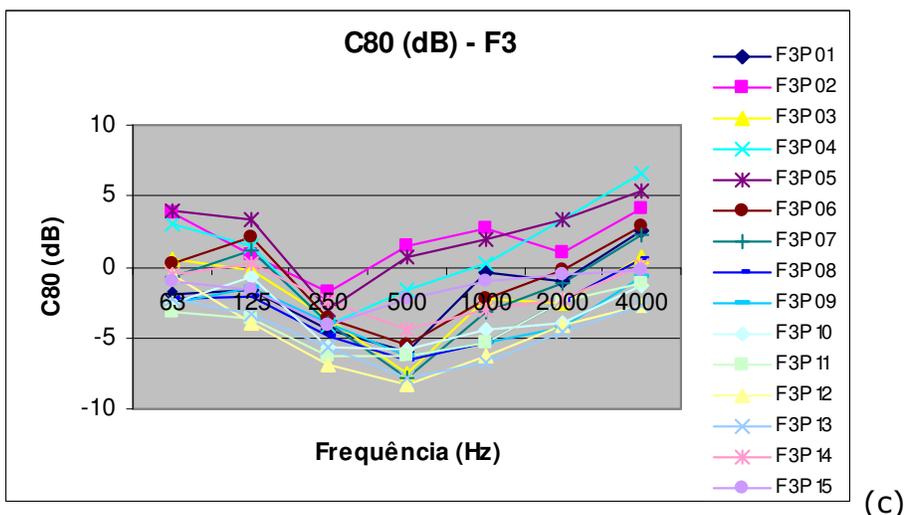
recomendações mínimas em sua plenitude. Observa-se porém que para as posições de ouvinte mais distantes da fonte sonora, os resultados estão dentro da faixa de recomendação de Beranek (1996).



(a)



(b)

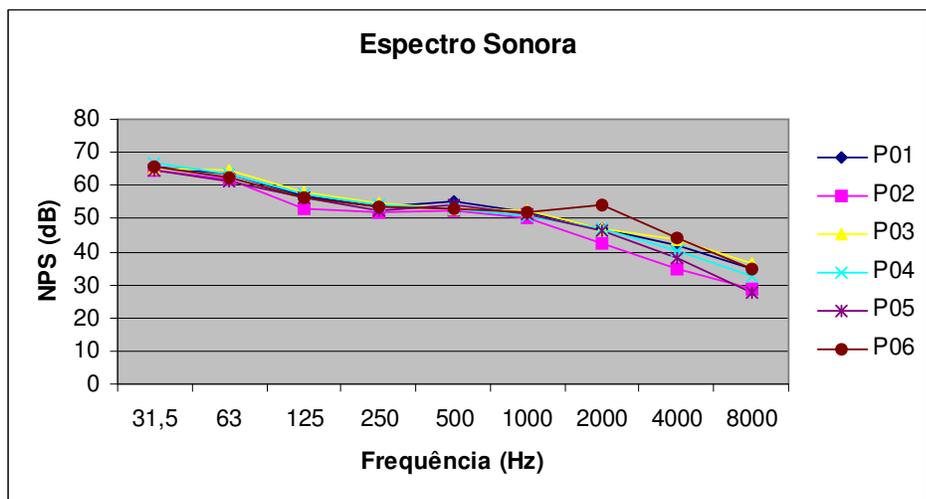


(c)

**Figura 6.16. – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

### 6.2.1.5. Espectro Sonoro

A figura 6.17 apresenta os resultados de nível de pressão sonora (NPS) em função da frequência para os seis pontos de medição no ginásio de esportes. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “K”.



**Figura 6.17. – Espectro Sonoro em função da frequência para 6 pontos de medição.**

O nível de ruído de fundo medido revela que os ruídos incidentais extra-muros não interferem na avaliação dos parâmetros acústicos. O comportamento das curvas de NPS do ginásio de esportes apresentou menos dispersão em relação aos pontos medidos até a frequência de 1000Hz. Os valores mais elevados de NPS encontram-se nas baixas frequências, decrescendo com o aumento da frequência. Para as baixas frequências os valores de NPS variam entre 65 a 66 dB, para as médias frequências os valores variaram de 50 a 55 dB e para as altas frequências os valores variaram entre 28 a 40 dB.

O ginásio do Clube Campineiro de Regatas pode ser considerado uma fonte de ruído para as edificações locais (vizinhas). Verificamos *in loco* os pontos problemáticos

onde pode ocorrer vazamento dos ruídos internos para o exterior e decorrem primordialmente,

- Da abertura das persianas em madeira e vidro, acima das arquibancadas.
- Da falta de isolamento sonoro adequado no telhado do ginásio.
- Da falta de isolamento sonoro adequado paredes do ginásio
- Da deficiência na vedação das portas.

#### **6.2.1.6. Classificação de Curvas NC**

Nesse item é apresentada a classificação do nível de critério (NC) do ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação. A classificação encontrada para o ginásio foi NC 50 e obtida a partir do nível de pressão sonora em função da frequência. Esse resultado indica que o ginásio de esportes está de acordo com a norma NBR 10152 (1987), em relação ao nível de ruído de fundo.

#### **6.2.1.7. Índice de Transmissão da Fala – STI**

A medição do STI foi realizada com a fonte sonora nas três posições centrais do perímetro da quadra e nos 15 pontos de recepção, conforme indicado na figura 6.12. A tabela 6.2 mostra os resultados do STI para os pares fonte/receptor. No ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação, a média aritmética dos valores do STI foi 0,43, cuja classificação é pobre para a fala. Para a inteligibilidade da palavra falada, entretanto encontramos como valor mínimo de STI igual a 0,35 (pobres) e valor máximo igual a 0,55 (aceitáveis). Os baixos valores de STI obtidos indicam um comprometimento da inteligibilidade da palavra falada.

Não existe uma relação única entre a distância entre fonte/receptor e os valores de STI. Os valores baixos de STI indicam a dificuldade da compreensão da palavra falada com perdas consonantais bastantes significativas como revela o parâmetro %

Alcons. É provável que nesse ginásio, o elevado tempo de reverberação aliado a tipologia contribuíram para baixa da inteligibilidade.

**Tabela 6.2 - Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALC) obtidos no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

		STI		
PONTOS		F1	F2	F3
P01	STI	0,47 (Aceitável)	0,41 (Pobre)	0,46 (Aceitável)
	% ALC	13,6	18,6	13,9
	DIST.(m)	21,91	10,25	11,62
P02	STI	0,46 (Aceitável)	0,42 (Pobre)	0,55 (Aceitável)
	% ALC	14,2	17,5	8,8
	DIST.(m)	22,61	8,55	6,08
P03	STI	0,36 (Pobre)	0,40 (Pobre)	0,41 (Pobre)
	% ALC	24	19,3	18
	DIST.(m)	18,09	7,36	12,17
P04	STI	0,35 (Pobre)	0,46 (Aceitável)	0,54 (Aceitável)
	% ALC	25,2	14,4	9
	DIST.(m)	18,92	4,73	7,08
P05	STI	0,35 (Pobre)	0,44 (Pobre)	0,53 (Aceitável)
	% ALC	25,5	15,8	9,8
	DIST.(m)	21,56	7,74	3,64
P06	STI	0,36 (Pobre)	0,55 (Aceitável)	0,44 (Pobre)
	% ALC	24,3	8,7	15,3
	DIST.(m)	17,86	6,08	8,25
P07	STI	0,39 (Pobre)	0,44 (Pobre)	0,42 (Pobre)
	% ALC	20,1	16,1	17,4
	DIST.(m)	13,48	5,60	14,25
P08	STI	0,45 (Aceitável)	0,41 (Pobre)	0,38 (Pobre)
	% ALC	14,5	18,1	21,5
	DIST.(m)	8,75	7,20	17,35
P09	STI	0,43 (Pobre)	0,47 (Aceitável)	0,37 (Pobre)
	% ALC	16,8	13,3	23
	DIST.(m)	10,39	4,76	14,56
P10	STI	0,39 (Pobre)	0,47 (Aceitável)	0,37 (Pobre)
	% ALC	20,5	13,5	23,1
	DIST.(m)	14,71	7,72	12,98
P11	STI	0,43 (Pobre)	0,43 (Pobre)	0,37 (Pobre)
	% ALC	16,2	16,8	22,5
	DIST.(m)	12,67	10,50	16,92
P12	STI	0,49 (Aceitável)	0,40 (Pobre)	0,35 (Pobre)
	% ALC	11,7	19,5	25,4
	DIST.(m)	7,33	8,57	17,98

<b>P13</b>	<b>STI</b>	0,55 (Aceitável)	0,41 (Pobre)	0,36 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	8,6	18,8	24,4
	<b>DIST.(m)</b>	4,81	10,23	20,53
<b>P14</b>	<b>STI</b>	0,62 (Bom)	0,39 (Pobre)	0,44 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	5,8	20,4	15,6
	<b>DIST.(m)</b>	5,54	13,09	22,32
<b>P15</b>	<b>STI</b>	0,50 (Aceitável)	0,41 (Pobre)	0,46 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	11,4	18,3	14,4
	<b>DIST.(m)</b>	11,72	14,46	21,48

### 6.3. Tênis Clube de Campinas

O Tênis Clube de Campinas foi fundado em 4 de maio de 1913, sob o título de “Lawn Tennis Club” com o objetivo de se praticar exclusivamente tênis. Sua primeira sede situava-se no bairro Bonfim, em uma chácara na região norte de Campinas. Em 1924 foi inaugurada a nova sede do clube na Rua Coronel Quirino, 115 (hoje nº1346), no bairro do Cambuí. Desde então, o clube é utilizado para diversas atividades como eventos esportivos e recreativos, festas e shows que acontecem em seu amplo ginásio de esportes. A figura 6.18 mostra uma vista aérea da implantação do ginásio de esportes.



**Figura 6.18. – Foto aérea do Ginásio de Esportes do Tênis Clube de Campinas.**

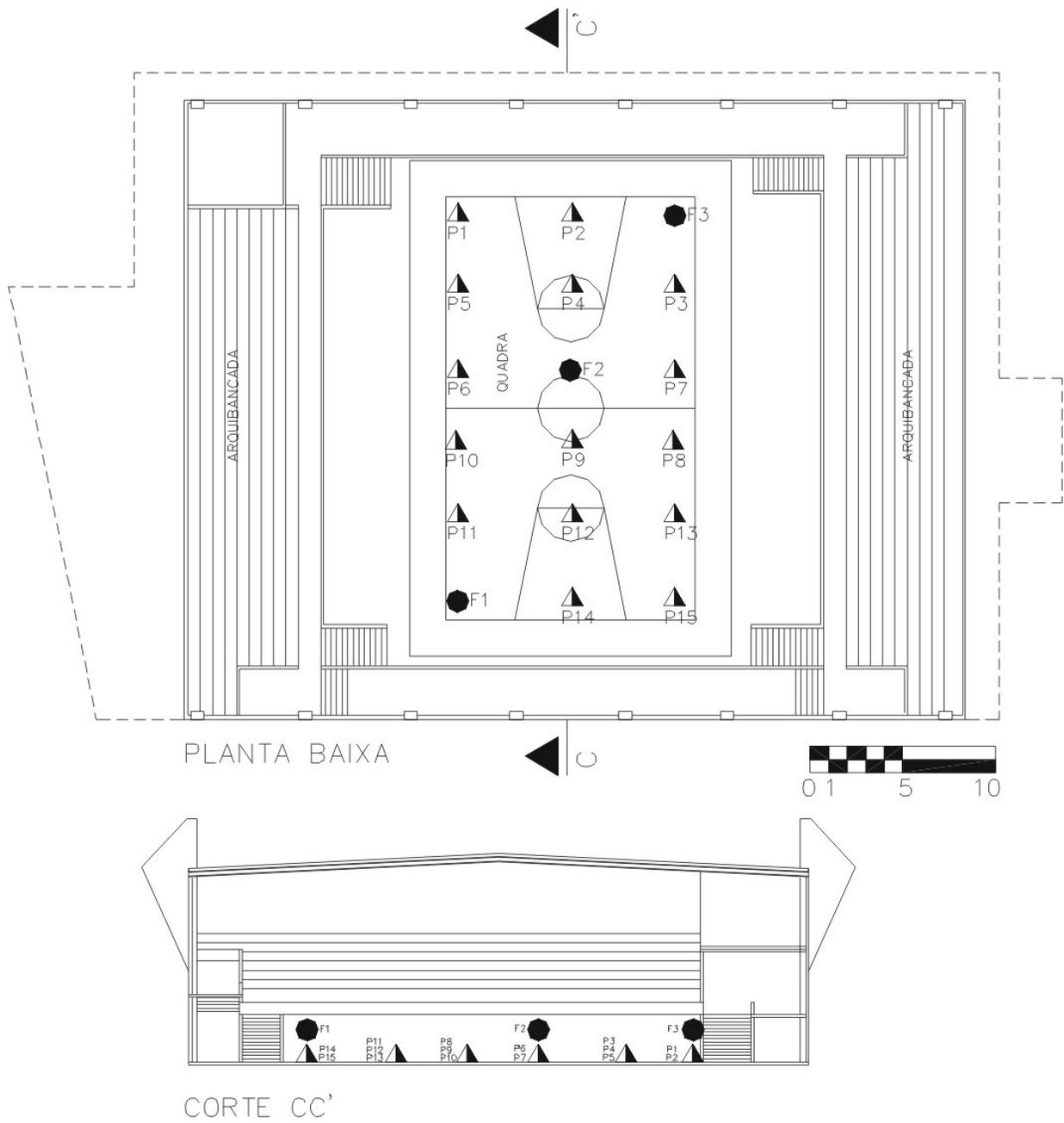
O ginásio de esportes com capacidade para até 2500 pessoas tem forma retangular de 42,70 metros de comprimento por 39,80 metros de largura. O teto é dividido em duas águas tendo altura de 10,00 metros no centro da quadra. Sua área total em planta é de  $1699,46\text{m}^2$  e seu volume de  $13.392\text{m}^3$ . Os materiais construtivos utilizados são: piso em madeira lisa nas quadras; as paredes na área da quadra são em

alvenaria com altura de 3,40metros, pintadas e as paredes da área superior da arquibancada são de madeira com janelas em telha de fibra transparente; as arquibancadas são suspensas em concreto armado; a estrutura de sustentação da cobertura é metálica recoberta com telha de amianto (figura 6.19).



**Figura 6.19. – Interior do Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

Na figura 6.20 são apresentados a planta e o corte do ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas. Também nessa figura estão indicados os pontos onde foram colocados a fonte sonora e os pontos de recepção.



**Figura 6.20 – Planta Baixa e Corte do Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

### **6.3.1. Resultados dos parâmetros acústicos.**

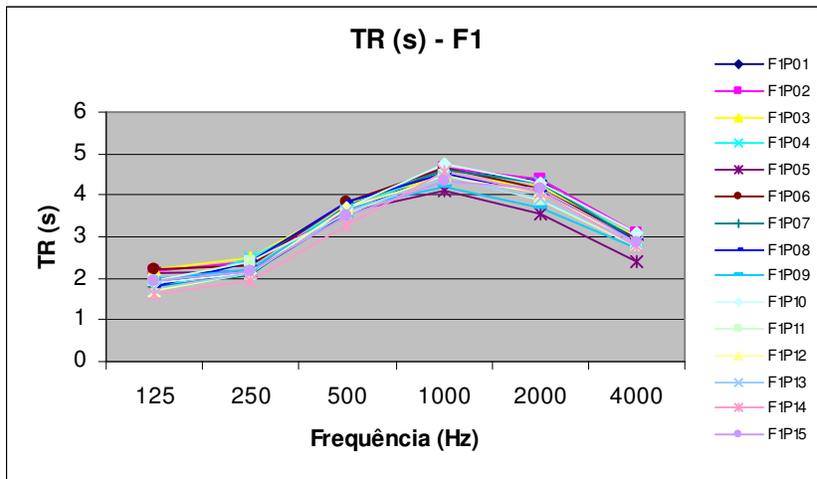
Os parâmetros acústicos medidos foram: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ), clareza ( $C_{80}$ ), espectro sonoro e índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (% Alcons), cujos resultados são apresentados nos itens subseqüentes.

#### **6.3.1.1. Tempo de Reverberação – TR**

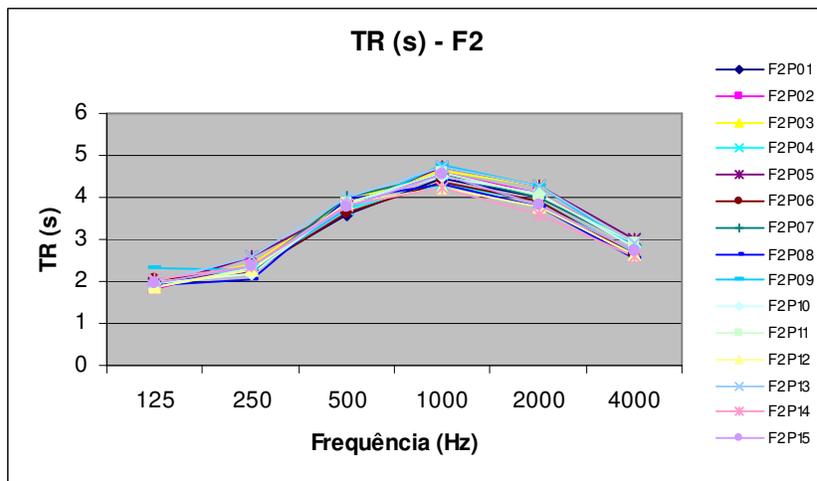
Na figura 6.21 são apresentados os resultados do tempo de reverberação (TR) em função da freqüência para as três posições de fonte e quinze posições de microfone. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “L”.

O comportamento de TR em função da freqüência no ginásio de esportes revelou-se semelhante para os pontos medidos. Segundo as curvas do gráfico da figura 6.21 é possível observar que o tempo de reverberação independe da posição do ouvinte ou da fonte sonora. Os gráficos de TR em função da freqüência têm como característica, uma parábola “invertida”, onde os valores de TR mais elevados estão entre 3,8 e 5s para a freqüência de 1000Hz e os valores mais baixos estão entre 1,5 e 2,5s para as freqüências de 125Hz e 250Hz.

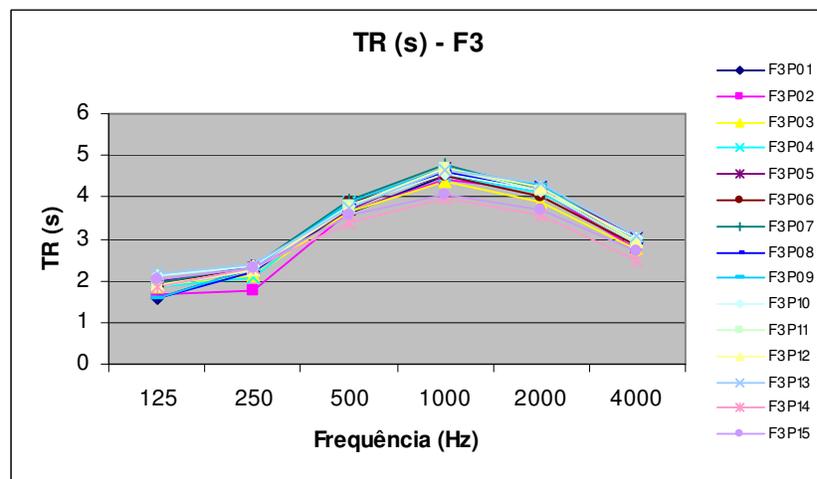
Segundo Marshall e Klepper (1999), Egan (1988) e Cooper (1976), o valor do tempo de reverberação para ginásios deve estar entre 0,8s e 1,8s para as freqüências de 500Hz e 1000Hz, atendendo tanto atividades com palavra falada quanto para música. Os valores de TR encontrados para as freqüências de 500Hz e 1000Hz, mostra que o ambiente esta inadequado para a palavra falada. A ausência de materiais acústicos absorventes na superfície interna da edificação colabora para essa inadequação do ambiente. Nota-se que para todas as freqüências os valores de TR estão extremamente elevados, o que requer correção acústica do ambiente.



(a)



(b)



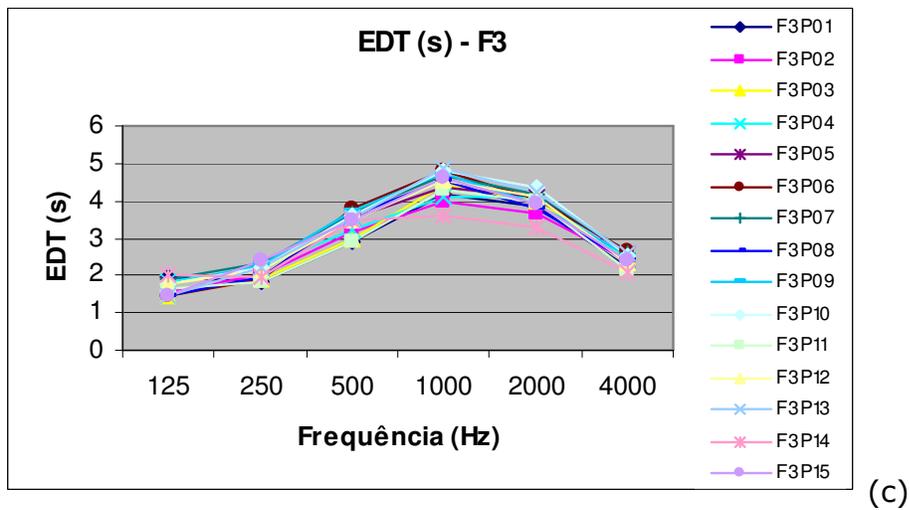
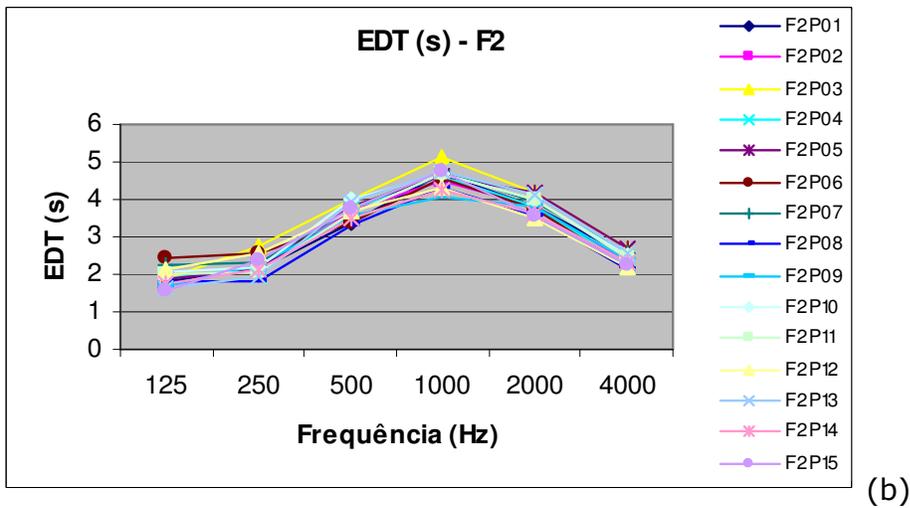
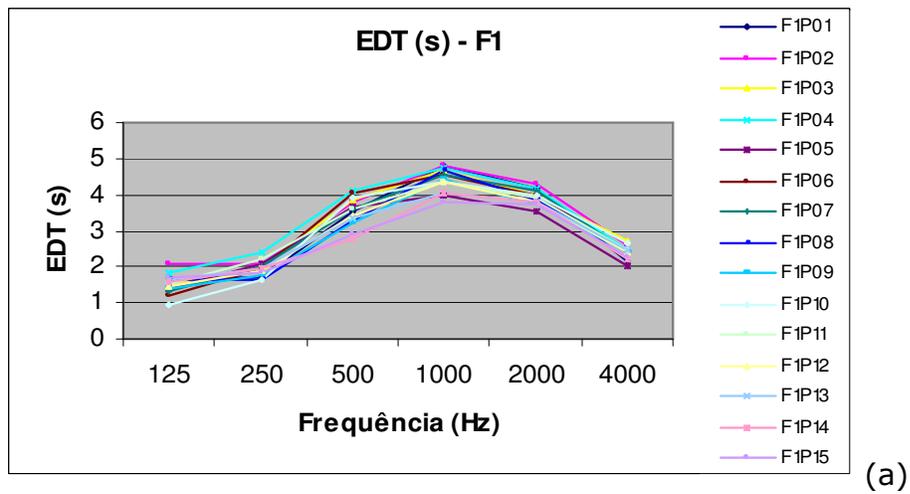
(c)

**Figura 6.21. – Tempo de Reverberação em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

### **6.3.1.2. Tempo de Decaimento Inicial – EDT**

A figura 6.22 apresenta os resultados dos tempos de decaimento inicial (EDT) em função de freqüência para as três posições de fontes. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “M”.

O comportamento das curvas de EDT em função da freqüência apresenta pouca alteração com as posições das fontes. Comparando os gráficos das figuras 6.22 de EDT com os gráficos da figura 6.21 de TR, é possível verificar que os valores destes dois parâmetros e o comportamento se assemelham para os pontos de medição, significando que a percepção da reverberação pelo ouvinte se aproxima dos valores de TR no ambiente. Os valores de EDT para todas as freqüências estão elevados e não atendem as recomendações para atividades de fala ou música.



**Figura 6.22. – Tempo de Decaimento Inicial em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

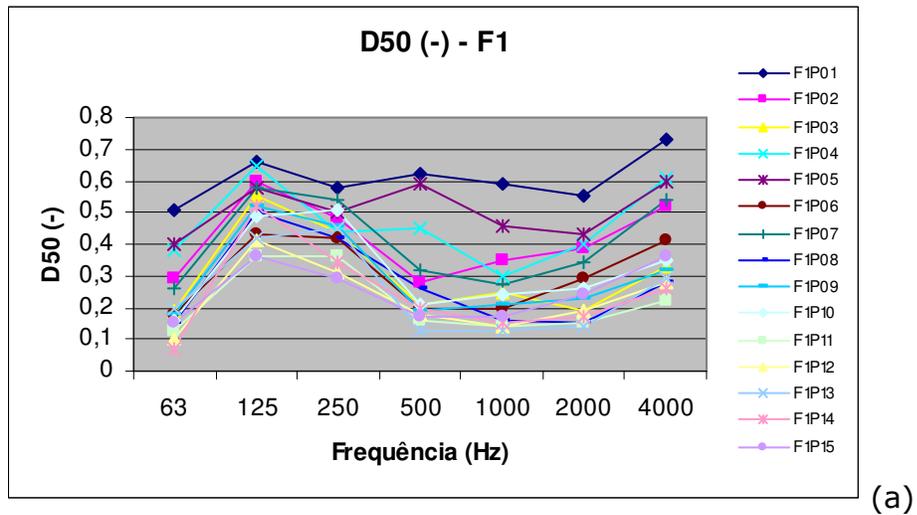
### 6.3.1.3. Definição – $D_{50}$

A figura 6.23 mostra os resultados de definição ( $D_{50}$ ) em função de frequência. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “N”. Quanto mais próximos de 1 for o valor de  $D_{50}$ , melhor é a inteligibilidade da fala (MEHTA et al, 1999). Segundo Ribeiro (2002), valores maiores ou iguais a 0,65 são adequados para a palavra falada

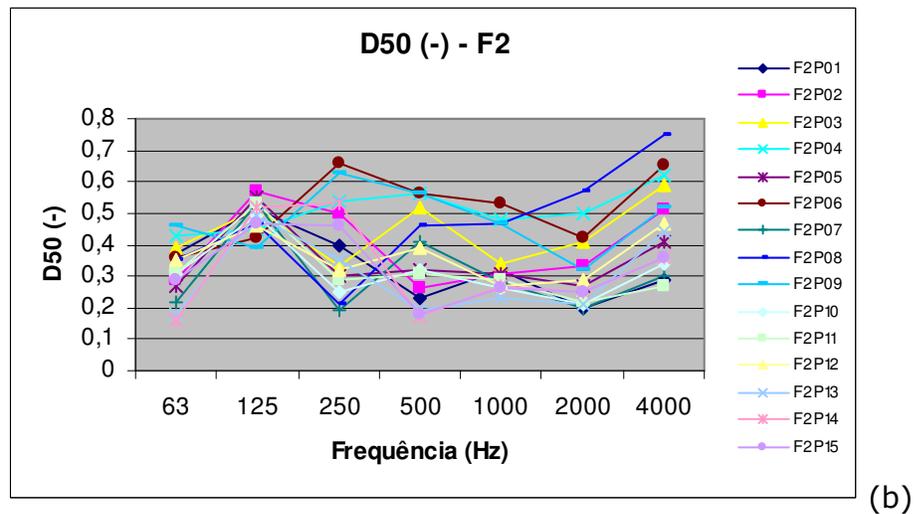
O ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas não está adequado para a palavra falada, uma vez que não apresenta, nos pontos medidos, valores de Definição iguais ou superiores a 0,65 em todas as frequências (RIBEIRO, 2002). Os valores de  $D_{50}$  variam de 0,1 a 0,75, mas a maioria dos resultados ficou abaixo de 0,05. Os baixos valores de  $D_{50}$  verificados indicam um comprometimento na inteligibilidade da fala.

Existe uma grande dispersão em  $D_{50}$  para os diferentes pontos. Entretanto para pontos mais próximos da fonte os valores de  $D_{50}$  melhoram. É provável que o tempo de reverberação elevado seja um dos fatores que interfere na difusão.

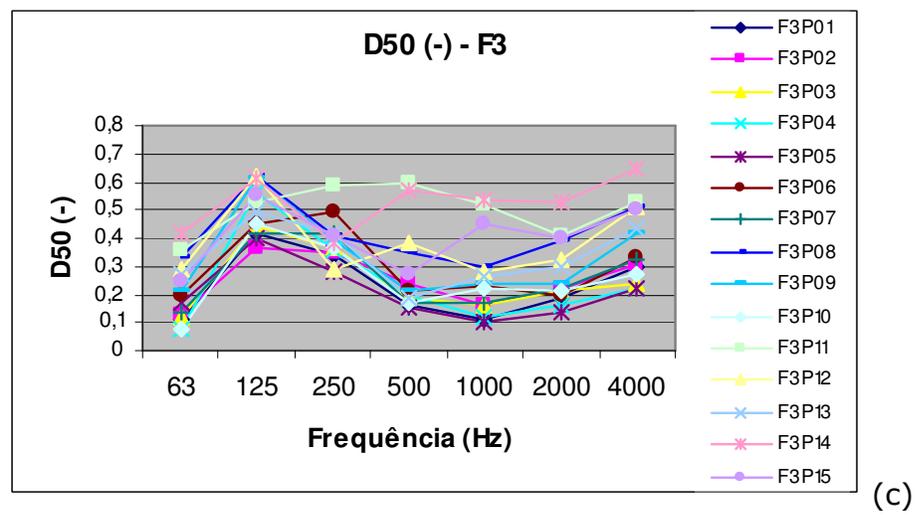
O parâmetro  $D_{50}$ , até o momento, foi pouco pesquisado em ginásios de esportes e ainda não está claro como e quais os fatores interferem no parâmetro  $D_{50}$  principalmente no caso de ambientes com dimensões ampliadas. Esse parâmetro merece uma avaliação mais aprofundada.



(a)



(b)



(c)

**Figura 6.23. – Definição em função da frequência para as diferentes posições de fontes.**

#### 6.3.1.4. Clareza – $C_{80}$

Nesse item são apresentados os resultados do parâmetro clareza ( $C_{80}$ ) para as diferentes posições de fonte e microfone. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “O”. Para efeito de comparação o valor de  $C_{80}$  deve atender a faixa entre -4 a +4 (BERANEK, 1996).

O comportamento de  $C_{80}$  em função da frequência para o ginásio revelou-se bastante disperso e irregular para os diversos pontos medidos, ultrapassando a faixa de valores recomendados, confirmando a inadequação do ambiente para atividades musicais. Nota-se um evidente excesso de reflexões que chegam aos pontos medidos, em até 80ms após a chegada do som direto e de forma irregular. A causa mais provável deste fenômeno pode ser creditada às reflexões provenientes das grandes superfícies duras e lisas do piso (madeira), das paredes (alvenaria), do teto (telha de amianto), das arquibancadas e das estruturas (alvenaria). O excesso de reverberação, a variedade e quantidade de caminhos diferentes entre som direto e as reflexões, são provavelmente a causa das variações de comportamento para o  $C_{80}$ . A intervenção nessas superfícies seria fundamental para a adequação do ginásio.

Considera-se para ambientes multifuncionais o valor de  $C_{80}$  igual a 1dB valor suficiente, enquanto o valor  $C_{80}$  igual a -4dB é o valor mínimo admissível. Grande parte dos valores de  $C_{80}$  obtidos não se encontram nessa faixa de recomendação. Portanto, o ginásio como espaço funcional e principalmente para atividades musicais esta inadequado.

O comportamento de  $C_{80}$  para as diversas posições de fonte sonora é muito distinto e os resultados de  $C_{80}$  para as diferentes posições avaliadas apresentam também grande dispersão. Porem para as posições de ouvinte mais distantes da fonte sonora, os resultados se enquadram estão dentro da faixa de recomendação de Beranek (1996). A distância tem uma certa influencia nos valores obtidos.

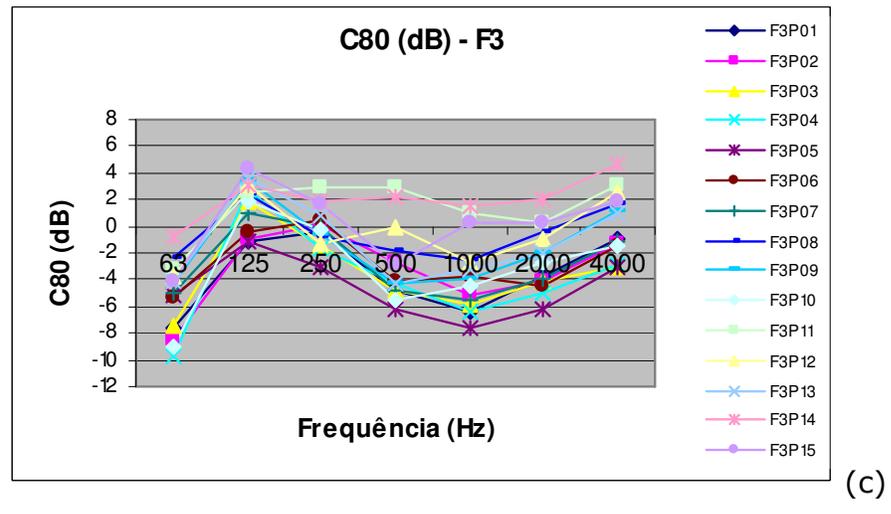
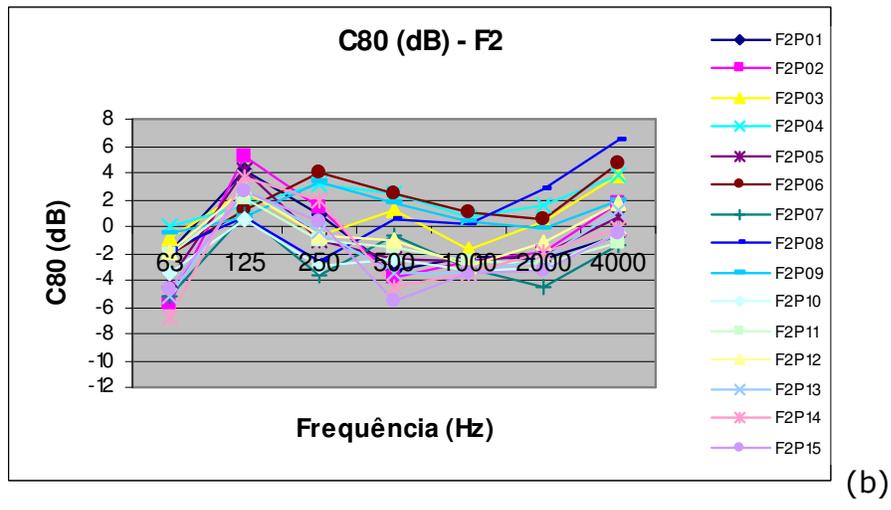
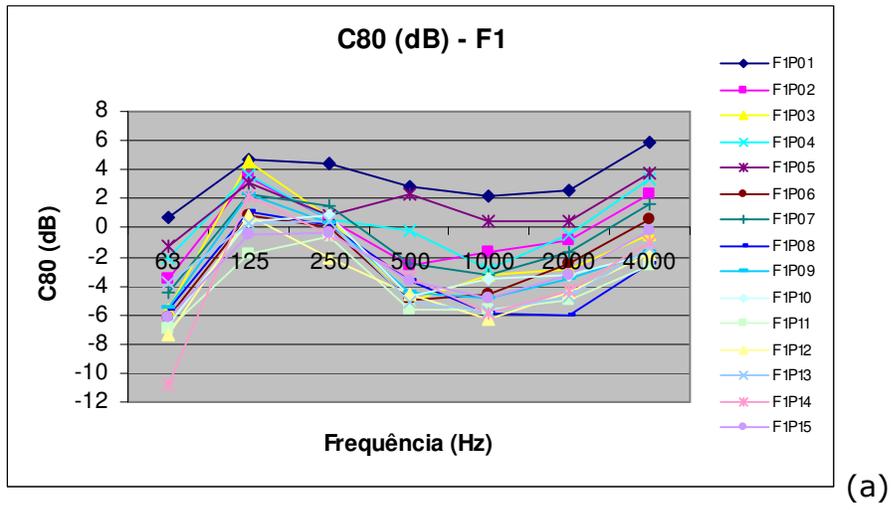


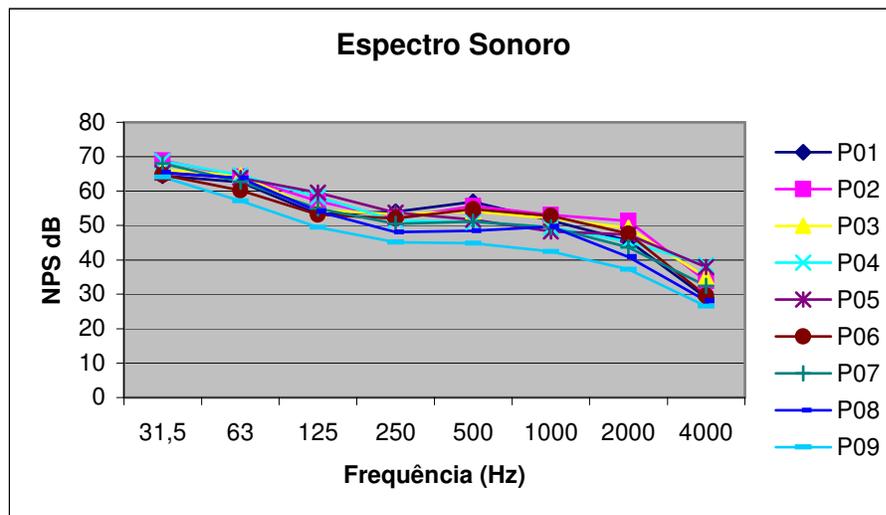
Figura 6.24. – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fontes.

O parâmetro  $C_{80}$  até o momento também foi pouco pesquisado no que diz respeito a ginásios de esportes, fatores que influenciam esse parâmetro de qualidade da inteligibilidade da música ainda não estão claros. Por esse motivo é um parâmetro, que como o  $D_{50}$ , merece uma avaliação mais aprofundada.

#### **6.3.1.5. Espectro Sonoro**

A figura 6.25 apresenta os resultados do nível de pressão sonora (NPS) em função da frequência para 9 pontos escolhidos e medidos no ambiente. Os resultados das medições por pontos estão apresentados no apêndice “P”.

Os resultados de NPS variam gradativamente em função da posição de medição, mas não qualitativamente. Os níveis de ruído medidos revelam a pouca interferência de ruídos incidentais como tráfegos de veículos no interior do ginásio. Os maiores valores de NPS se encontram nas baixas frequências, decaindo com o aumento da frequência. As variações encontradas entre os pontos de medição, nas baixas frequências foram de 45 a 55 dB, nas médias frequências foram de 50 a 55 dB e nas altas frequências de 26 a 40 dB.



**Figura 6.25. – Espectro Sonoro em função da frequência para 9 pontos de medição.**

O ginásio multifuncional do Tênis Clube de Campinas como fonte de ruído de que pode atingir as edificações vizinhas. Verificamos *in loco* possíveis focos de interferência dos ruídos internos para o exterior e que decorrem primordialmente,

- Da janela de fibra transparente voltada para uma das ruas.
- Da falta de isolamento sonoro adequado no telhado do ginásio.
- Da falta de isolamento sonoro adequado das paredes do ginásio
- Da ausência de portas acústicas.
- Do sistema sonorização ambiente do ginásio

#### **6.3.1.6. Classificação de Curvas NC**

A classificação de NC encontrada para o ginásio obtida por meio do nível de pressão sonora em função da frequência foi NC 50 e indica que o ginásio de esportes está de acordo com a recomendação da norma NBR 10152 (1987), em relação ao nível de ruído de fundo.

### 6.3.1.7. Índice de Transmissão da Fala – STI

A variação dos valores de STI para os diferentes pontos do ginásio foi grande como se pode observar na tabela 6.3. A média aritmética do índice de transmissão da fala para ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas foi de 0,47 classificando-o como “aceitável”. Em função das posições do ambiente, foram encontrados como valor mais baixo, 0,38 (pobres) e como mais elevado, 0,61 (bom). Os baixos valores de STI verificados implicam em comprometimento da inteligibilidade da palavra falada com perdas consonantais bastantes significativas. Conforme também podem ser observados na tabela 6.3.

Não existe uma relação direta entre a distância entre fonte/receptor e o STI pois provavelmente a ausência de materiais absorventes nas superfícies internas, elevando as reflexões promovidas pelo teto em duas águas, interferem nos resultados dos pontos de medição.

**Tabela 6.3 - Índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALC) obtidos no Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

<b>PONTOS</b>		<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>P01</b>	<b>STI</b>	0,61 (Bom)	0,45 (Aceitável)	0,42 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	6,3	14,8	17,2
	<b>DIST.(m)</b>	21,06	10,49	11,73
<b>P02</b>	<b>STI</b>	0,50 (Aceitável)	0,48 (Aceitável)	0,44 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	11,1	12,7	16,1
	<b>DIST.(m)</b>	21,97	8,55	5,55
<b>P03</b>	<b>STI</b>	0,45 (Aceitável)	0,53 (Aceitável)	0,42 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	14,6	9,8	17,6
	<b>DIST.(m)</b>	20,88	7,37	3,64
<b>P04</b>	<b>STI</b>	0,52 (Aceitável)	0,57 (Aceitável)	0,40 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	10,4	7,8	19,5
	<b>DIST.(m)</b>	18,28	4,72	6,63
<b>P05</b>	<b>STI</b>	0,54 (Aceitável)	0,48 (Aceitável)	0,38 (Pobre)

	<b>% ALC</b>	9,1	12,8	22,2
	<b>DIST.(m)</b>	17,23	7,70	12,28
<b>P06</b>	<b>STI</b>	0,44 (Pobre)	0,60 (Aceitável)	0,42 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	15,3	6,8	17,2
	<b>DIST.(m)</b>	12,62	6,08	14,40
<b>P07</b>	<b>STI</b>	0,48 (Aceitável)	0,45 (Aceitável)	0,41 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	12,8	14,7	18,7
	<b>DIST.</b>	17,27	5,65	8,25
<b>P08</b>	<b>STI</b>	0,41 (Pobre)	0,60 (Aceitável)	0,47 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	18,7	6,8	13,3
	<b>DIST.(m)</b>	14,60	6,70	12,12
<b>P09</b>	<b>STI</b>	0,45 (Aceitável)	0,56 (Aceitável)	0,44 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	15,1	8,3	15,8
	<b>DIST.(m)</b>	10,78	3,71	13,35
<b>P10</b>	<b>STI</b>	0,45 (Aceitável)	0,45 (Aceitável)	0,42 (Pobre)
	<b>% ALC</b>	15,2	14,8	17,3
	<b>DIST.(m)</b>	8,75	7,25	16,92
<b>P11</b>	<b>STI</b>	0,40 (Pobre)	0,45 (Aceitável)	0,54 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	19,7	15,2	9
	<b>DIST.(m)</b>	4,81	9,81	19,87
<b>P12</b>	<b>STI</b>	0,41 (Pobre)	0,50 (Aceitável)	0,48 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	18,5	11,5	12,5
	<b>DIST.(m)</b>	7,84	7,70	16,98
<b>P13</b>	<b>STI</b>	0,41 (Pobre)	0,45 (Aceitável)	0,46 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	18,3	15,3	14,5
	<b>DIST.(m)</b>	12,69	9,55	16,07
<b>P14</b>	<b>STI</b>	0,44 (Pobre)	0,45 (Aceitável)	0,57 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	15,9	14,5	7,6
	<b>DIST.(m)</b>	6,20	12,27	21,35
<b>P15</b>	<b>STI</b>	0,43 (Pobre)	0,43 (Pobre)	0,50 (Aceitável)
	<b>% ALC</b>	16,2	16,7	11,4
	<b>DIST.(m)</b>	11,74	13,49	20,62

#### 6.4. Estudos de raios sonoros

Para os ginásios escolhidos foram feitas simulações dos traçados de raios sonoros no seu interior. Nas figuras 6.26, 6.27 e 6.28 são apresentados os cortes dos três ginásios de esportes multifuncionais com os raios sonoros incidentes em vermelho e os refletidos em preto, levando em consideração a lei de reflexão acústica. Os pontos de fontes sonoras e os pontos receptores são os mesmos utilizados na medição dos parâmetros acústicos. No estudo do traçado de raios foram utilizados o som direto e as primeiras reflexões, de modo a facilitar na análise.

O som direto corresponde às ondas sonoras que chegam diretamente ao ouvinte após serem emitidas pela fonte, sem qualquer reflexão das superfícies, pessoas e objetos existentes no ambiente. Trata-se, portanto, das ondas sonoras que chegam em primeiro lugar ao ponto onde o receptor está situado. Elas contribuem para as sensações de intensidade sonora, “clareza” e localização da fonte no ambiente.

As primeiras reflexões correspondem às ondas sonoras que chegam ao ouvinte após terem sido refletidas por uma das superfícies internas de um determinado ambiente. As reflexões tardias consistem nas ondas sonoras que chegam ao ouvinte após múltiplas reflexões nas superfícies de um determinado ambiente. Nesse processo, elas percorrem longos trajetos e, a cada reflexão, têm sua intensidade diminuída em relação ao som direto e às primeiras reflexões.

Estudos iniciados por Haas (1972) na década de 1950 já demonstravam que a chegada das primeiras reflexões ao ouvinte logo após a chegada do som direto estava diretamente relacionada à sensação de “clareza”. Tais reflexões, no entanto, podem existir na presença de tempos de reverberação mais longos, porém de baixa intensidade, proporcionando um som claro e reverberante simultaneamente.

Haas (1972) demonstrou claramente que os sons que chegam aos ouvintes entre 20 e 50ms após o som direto não são percebidos como sons distintos e por isso

funcionam como um “reforço” do som direto. Já os sons percebidos pelos ouvintes após 70ms em relação ao som direto foram descritos como eventos acústicos distintos e percebidos de forma não integrada. O intervalo de 50ms corresponde a uma diferença de caminho percorrido entre sons de 17m. Portanto, para se evitar a sensação de separação de sons diretos e refletidos é necessário que as diferenças de caminho sejam menores que 17m ou que o nível de pressão sonora do som atrasado seja muito menor que o do som direto.

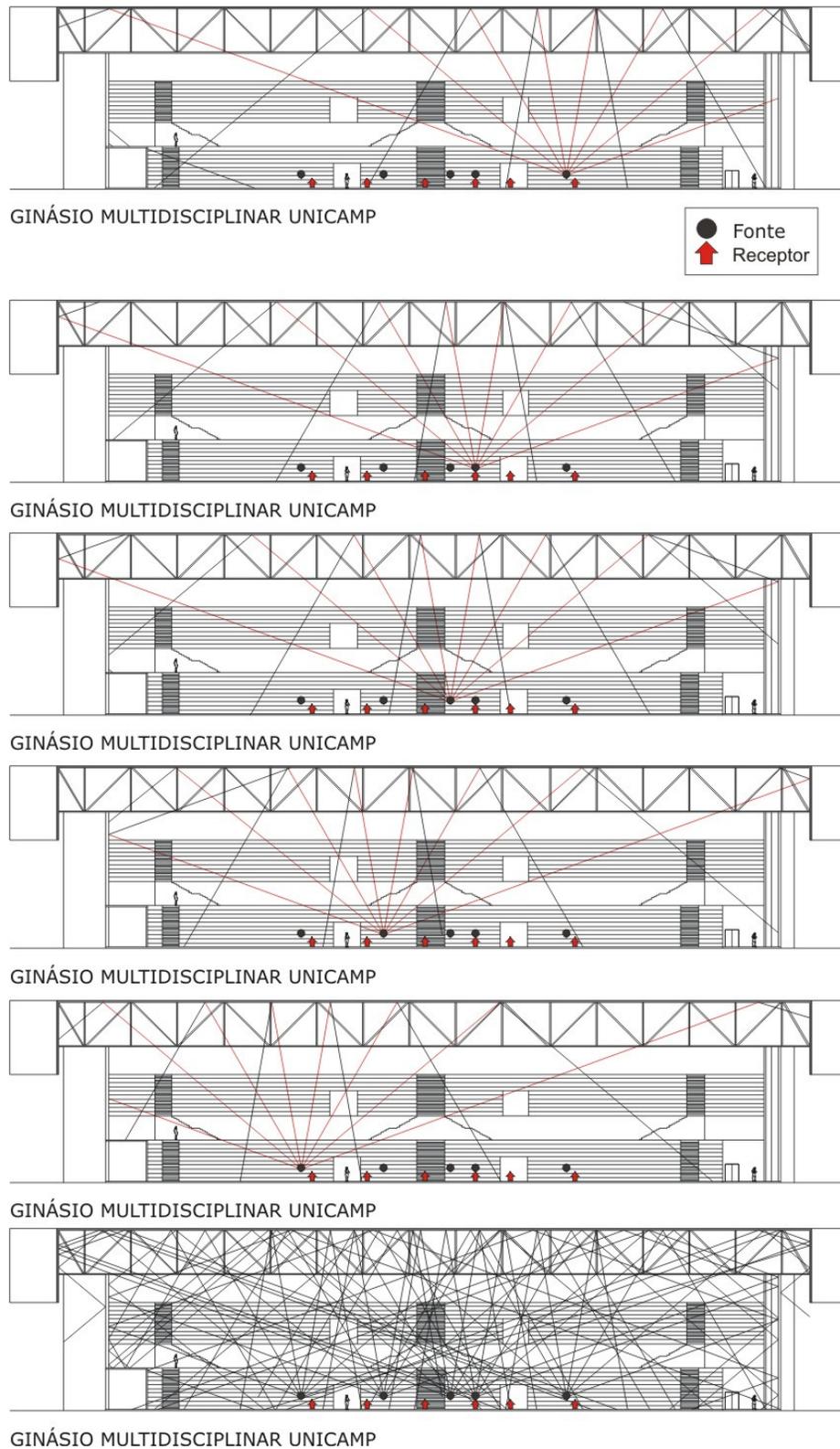
Na figura 6.26 do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp são mostrados seis cortes, sendo cada um para uma posição de fonte e seu respectivo do traçado de raios e o último com todas as fontes reunidas. Nas figuras 6.27 e 6.28 dos ginásios de esporte do Clube Campineiro Regatas e Natação e no Tênis Clube de Campinas são apresentados quatro cortes, sendo os três primeiros relativos a fontes sonoras individuais e o último com todas as fontes juntas. Por meio desse estudo, foi possível analisar as variações encontradas em alguns pontos de medição e explicá-los. Como já mencionado, os traçados vermelhos representam os raios incidentes e os traçados pretos representam os raios refletidos.

No ginásio Multidisciplinar da Unicamp (figura 6.26) observou-se, *in loco*, que quando se emite um sinal sonoro, logo se percebe o som refletido pelas superfícies chegando ao ouvinte com certo atraso em relação ao som direto. As distâncias que o som percorre até atingir a superfície de reflexão são maiores do que as especificadas pelos intervalos de tempo propostos por Haas (1972). As dimensões amplas e as superfícies reflexivas (materiais lisos e rígidos) do ginásio Multidisciplinar interferem nos parâmetros acústicos avaliados. Em relação ao som direto e as primeiras reflexões, e os sons que chegam ao ouvinte com intervalos maiores que 50ms após a emissão do som direto, proporcionam sons não integrados, ou seja, ecos, prejudicando à sensação de “clareza”.

A posição do ouvinte, a localização das fontes sonoras e as distâncias das superfícies podem contribuir para a qualidade acústica do ambiente. Dependendo da

distância entre eles os sons que chegam aos ouvintes entre 20 e 50ms, após o som direto, não são percebidos como sons distintos, funcionam como um “reforço” do som direto (HAAS, 1972). Para sons que chegam com tempos maiores é preciso que o nível de pressão sonora do som refletido seja muito menor que o som direto para não gerar distorções. Portanto, esses sons precisam ser absorvidos antes de chegar ao ouvinte. Conseqüentemente as dimensões e as características do ambiente são fatores fundamentais para a adequação acústica,

A presença de materiais reflexivos nas superfícies de um ambiente faz com que os raios incidentes nessa superfície sejam refletidos, retornando ao ambiente. Para conjunto de ondas menores que as dimensões do ambiente, a trajetória dos raios refletidos obedecem a lei de reflexão. Os raios acústicos refletidos devem ser distribuídos pelo ambiente de forma equilibrada, não apresentando concentração dos raios no ambiente. Formas inadequadas e excesso de materiais reflexivos contribuem para que os raios refletidos prejudiquem a inteligibilidade da fala e a música. Uma das maneiras de adequação acústica é o tratamento acústico dessas superfícies refletoras, substituindo ou revestindo-as com materiais acústicos absorventes.



**Figura 6.26 – Cortes do Ginásio Multidisciplinar da Unicamp com estudo de raios sonoros.**

A figura 6.27 mostra os cortes do Ginásio de Esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação com o estudo do traçado de raios. Para este estudo foram utilizadas as três posições de fontes escolhidas para a medição acústica. Observa-se, aplicando a lei da reflexão, que os raios se concentram no centro da edificação. A forma côncava da cobertura contribui para que os raios refletidos se concentrem na área central do ginásio, na região da quadra onde foram efetuadas as medições acusticas.

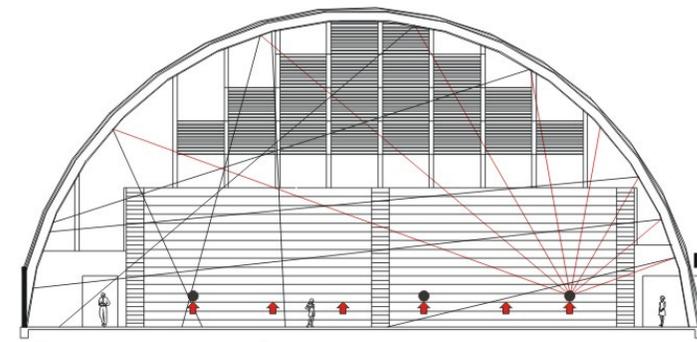
Da mesma forma que no ginásio Multidisciplinar da Unicamp, verificamos, *in loco*, no ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação (figura 6.27), que quando se emite um sinal sonoro, percebe-se a presença da reflexão distinta, ou seja, o som refletido na superfície chega ao ouvinte com certo atraso em relação ao som direto. A distância entre a fonte sonora, receptor e as superfícies de reflexão são superiores aos atrasos especificados por Haas (1972).

As dimensões amplas, as superfícies reflexivas (materiais lisos e rígidos) das paredes e da cobertura, e também a forma côncava do ginásio de esportes influenciaram os resultados dos parâmetros de avaliação acústica. As reflexões tardias em relação ao som direto que chegam ao ouvinte com intervalos maiores que 50ms, após a emissão do som direto, proporcionam a sensação de sons não integrados, prejudicando a “clareza”. As superfícies refletoras côncavas concentram e/ou focalizam a energia sonora em alguns pontos e reduzem a energia em outros pontos. Esse desequilíbrio é prejudicial para a qualidade acústica do ambiente.

Observando o estudo de raios na figura 6.27, percebe-se que para os pontos de fontes localizados nas extremidades, os raios refletidos são melhores distribuídos pelo ambiente, não deixando que eles se concentrem na área central. A curvatura dessa superfície côncava para esses pontos funciona como um difusor, distribuindo os raios sonoros para todo o ambiente da quadra.

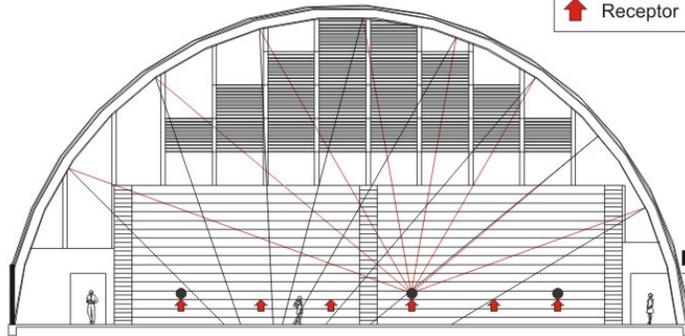
O ginásio de esportes do clube recebe alguns eventos que necessariamente precisam de palcos. Observando o ginásio e a distribuição sonora, percebe-se que a

melhor posição para o palco são as extremidades da quadra, onde a forma do teto ajuda na distribuição do som. O tratamento acústico das superfícies refletoras, substituindo ou revestindo-as com materiais acústicos absorventes é uma das maneiras de promover a adequação acústica do ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação.

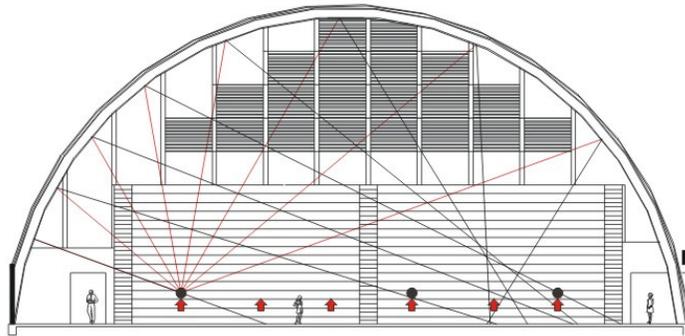


GINÁSIO CLUBE REGATAS E NATAÇÃO

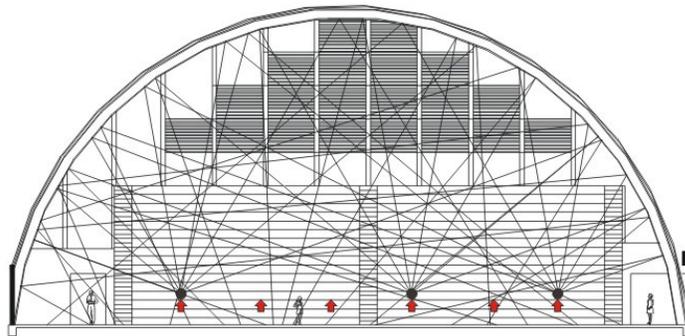
● Fonte  
 ↑ Receptor



GINÁSIO CLUBE REGATAS E NATAÇÃO



GINÁSIO CLUBE REGATAS E NATAÇÃO



GINÁSIO CLUBE REGATAS E NATAÇÃO



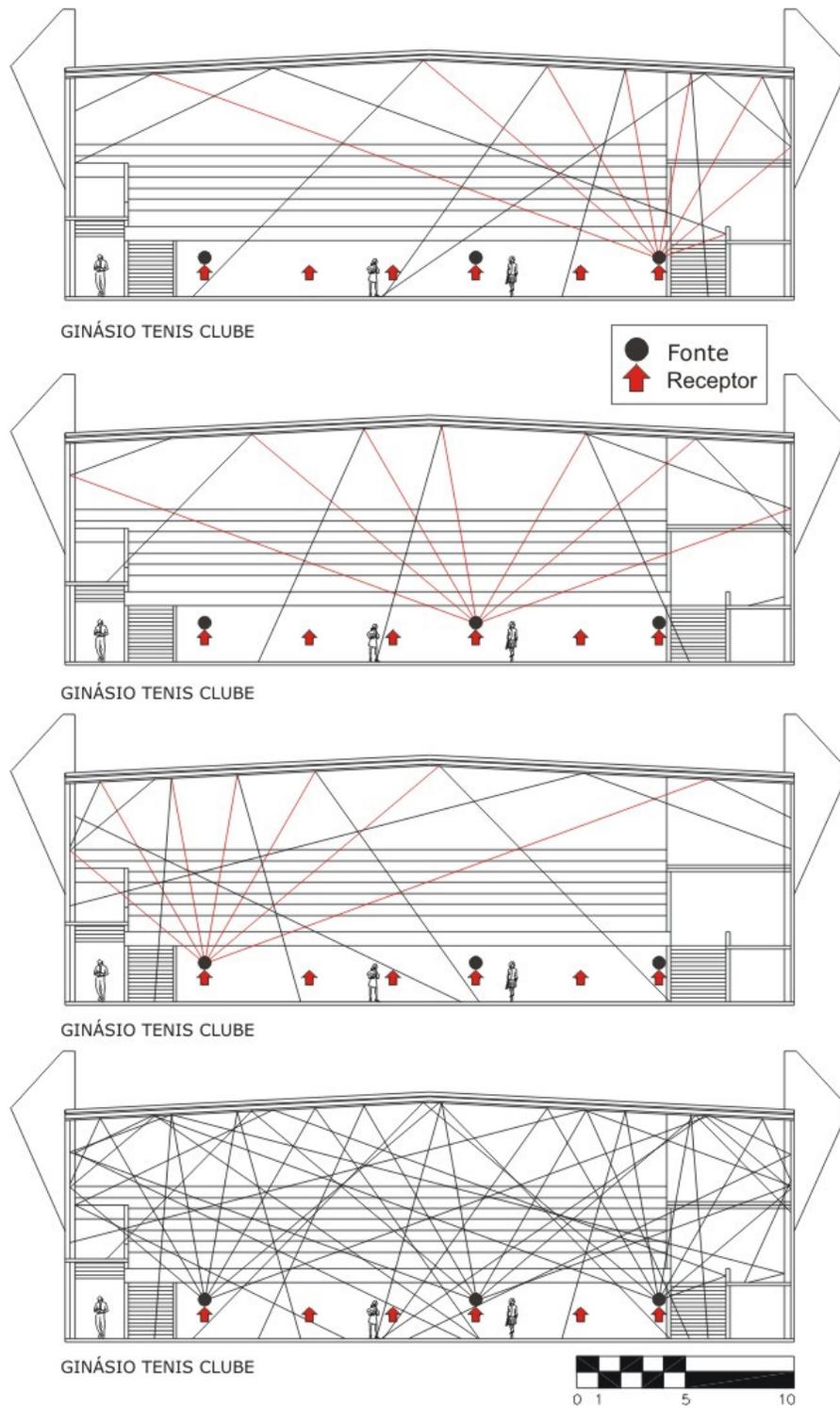
**Figura 6.27 – Cortes do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação com o estudo de raios sonoros.**

A figura 6.28 mostra os cortes do Ginásio de Esportes do Tênis Clube de Campinas com o estudo do traçado de raios. Para este estudo também foram utilizadas as 3 posições de fontes escolhidas para a medição acústica. Considerando a lei de reflexão acústica, observa-se que alguns raios se espalham pela edificação e outros se condensam no centro da quadra. A inclinação da cobertura em duas águas, contribui para que os raios incidentes sejam refletidos de maneira desordenada pelo ginásio.

No ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas (figura 6.28), também foi possível perceber que emitindo um sinal sonoro, existe reflexos que se distingue do som direto. As distâncias percorridas pelo som direto e os refletidos são superiores as diferenças das distancias especificadas pelos atrasos recomendados por Haas (1972). As dimensões amplas e as superfícies reflexivas (materiais lisos e rígidos) do ginásio do Tênis Clube de Campinas, assim como nos demais ginásios, influenciaram os parâmetros acústicos.

Observando o estudo de raios na figura 6.28, os pontos de fontes localizados nas extremidades, distribuem melhor os raios refletidos que os localizados na área central ao ambiente. Para esses pontos a inclinação da curva, funciona como um refletor, distribuindo os raios sonoros das primeiras reflexões, para todo o ambiente.

O ginásio de esportes do Tênis Clube, assim como o ginásio do Clube Regatas, recebe alguns eventos, shows, por exemplo, que precisam de palco. Considerando as distribuições sonoras, a melhor localização para a colocação do palco [e o ponta da extremidade direita da planta. O tratamento acústico das superfícies refletoras também seria umas das maneiras de promover a adequação acústica do ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas.



**Figura 6.28 – Cortes do Ginásio do Tênis Clube de Campinas com o estudo de raios sonoros.**

Os três ginásios de esportes multifuncionais apresentam características, tipologias, volumetria e dimensões variadas. No entanto, todos os ginásios apresentam praticamente os mesmos problemas acústicos como excesso de reverberação, diferenças de trajetórias entre o som direto e o som refletido. A correção acústica desses ambientes exige o tratamento acústico das superfícies tornando-as mais absorvente, a modificação das trajetórias do som direto e refletido para reduzir a diferença de distancia entre eles. Por se tratarem de espaços multifuncionais, talvez o maior problema seja conseguir uma variabilidade acústica para atingir metas diferentes para os diversos tipos de atividade.

Nos ginásios de esportes multifuncionais, para se evitar os sons não integrados, é necessário eliminar-se qualquer superfície lisa e rígida inferior à distância crítica de 17m. As maneiras propostas de se conseguir tal objetivo é o tratamento acústico das superfícies refletoras, revestindo-as com materiais acústicos absorventes ou, então, a sua substituição por materiais cujas superfícies sejam absorventes.

## 6.5. Em Resumo

Nesse item é apresentado um resumo das discussões dos resultados obtidos por parâmetros acústicos medido.

- **Tempo de reverberação - TR**

No ginásio Multidisciplinar da Unicamp os gráficos do tempo de reverberação têm como característica uma parábola “invertida”, onde os maiores valores de TR estão entre 5,5 e 7s para a frequência de 500Hz (frequência da fala), e os valores mais baixos estão entre 3 e 4s para a frequência de 4000Hz. No ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação os resultados de TR mostram dispersão para as diferentes posições de medição na frequência de 125Hz, estando separados em dois blocos: um variando de 6 a 8s e outro bloco mais elevado variando de 8 a 10s. Os valores mais baixos de TR são encontrados na frequência de 4000Hz com variação entre 3 e 4s. No ginásio do Tênis Clube de Campinas os gráficos de TR têm também como característica, uma parábola “invertida”, onde os maiores valores de TR encontram-se em 1000Hz e variam entre 3,8 e 5s, os valores mais baixos de TR, estão em 125Hz e 250Hz, variando entre 1,5 e 2,5s.

As curvas de TR têm comportamentos similares, independentemente da localização das fontes de excitação. Os ginásios de esportes multifuncionais estão acusticamente deficientes em relação aos valores do tempo de reverberação, tanto para palavra falada como para apresentação musicais.

- **Tempo de Decaimento Inicial – EDT (Early Decay Time)**

O comportamento das curvas de EDT, a exemplo das curvas de TR, pouco se alteram com as posições das fontes. No ginásio Multidisciplinar da Unicamp os valores

de TR e EDT se aproximam, significando que a percepção do som pelo ouvinte se aproxima dos valores do tempo de reverberação do ambiente. Para esse ginásio os gráficos de EDT também têm como característica uma parábola “invertida” onde seus maiores valores estão entre 5 e 7s para a frequência de 500Hz e os menores valores estão entre 2 e 5s para a frequência de 4000Hz.

Diferentemente, o comportamento foi encontrado para os ginásios de esportes dos clubes, comparando os resultados de EDT com os TR, verifica-se que os valores não estão próximos, significando que a percepção da reverberação pelo ouvinte é diferente. Para o resultado de EDT do ginásio do Clube Regatas, os maiores valores estão entre 6 e 11s para a frequência de 250Hz e os menores valores estão entre 2 e 4s para frequência de 4000Hz. Para o ginásio do Tênis Clube, o gráfico de EDT tem os maiores valores entre 3,8 e 5s para a frequência de 1000z e os valores mais baixos estão entre 1,5 e 2,5s para a frequência de 125Hz e 250Hz. Os valores de EDT obtidos estão inadequados para os diversos tipos de atividades a serem desenvolvidos, necessitando de correção.

- **Definição –  $D_{50}$**

Em relação ao parâmetro definição, o comportamento de todos os ginásios de esportes multifuncionais foi inadequado para a palavra falada, uma vez que apresentaram pouquíssimos valores de definição superiores a 0,65 (RIBEIRO, 2002). Os baixos valores de  $D_{50}$  verificados indicam um comprometimento na inteligibilidade da palavra falada.

O comportamento de  $D_{50}$  para as diferentes posições de fonte e ouvinte demonstra que a maioria das posições está desfavorecida. O comportamento de  $D_{50}$  para os pontos de medição mais próxima das fontes sonoras são melhores que os pontos mais distantes. O comportamento de  $D_{50}$  dos pontos de medição decresce com o afastamento da fonte sonora. O tempo de reverberação elevado influencia mais nos

baixos valores de  $D_{50}$  que a distancia fonte/receptor. A distância tem grande influência na variação dos valores de EDT como o elevado tempo de reverberação, influenciando baixos valores de  $D_{50}$ .

- **Clareza -  $C_{80}$**

Em relação a clareza, o comportamento de  $C_{80}$  para os três ginásios de esportes multifuncionais revelou-se bastantes disperso e irregular com a frequência nos diversos pontos medidos, confirmando a inadequação do ambiente para atividades musicais. Os valores encontrados evidenciam o excesso de reflexões que chegam aos pontos medidos, em até 80ms após a chegada do som direto, porém de forma irregular. O aumento da absorção do ambiente pela inserção de materiais absorventes nas superfícies seria fundamentada para a adequação acústica desses ginásios.

Os gráficos do parâmetro clareza para os ginásios de esportes têm característica de uma parábola “positiva”, onde os menores resultados de  $C_{80}$ , estão localizados na frequência de 500Hz (palavra falada) e os maiores resultados estão entre 125Hz e 4000Hz.

- **Classificação de Curvas NC**

A classificação NC recomendada pela norma NBR 10152 para pavilhões fechados para espetáculos relacionados à atividade esportiva, varia entre 40 e 55. A classificação de NC obtida para o ginásio Multidisciplinar da Unicamp considerando o mais elevado espectro encontrado foi de NC 55. Para os ginásios de esportes dos clubes as ambas classificações de NC foram iguais a 50. Esses valores indicam que os três ginásios de esportes multifuncionais estão de acordo com a norma NBR 10152 (1987), em relação ao nível de ruído de fundo.

- **Índice de Transmissão da Fala – STI**

Em relação ao STI, o Ginásio Multidisciplinar da Unicamp apresentou um desenvolvimento médio em relação aos pares fonte/receptor de 0,53, considerando aceitável. O valor mínimo encontrado para STI foi de 0,40 (pobre) e o máximo igual a 0,78 (excelente). Existe um desequilíbrio muito grande na distribuição sonora desse ginásio.

Para o ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação, a média aritmética dos valores do STI em relação aos pontos de medição encontrado foi de 0,43 considerada pobre. (Os valores de STI apresentam entre os pontos medidos, uma variação de STI entre 0,35 (pobres) e 0,62 (aceitáveis). Os baixos valores de STI verificados indicam um comprometimento da inteligibilidade da palavra falada. A distância é um fator que influencia os valores de STI, mas a localização dos pontos de medição, a volumetria e a tipologia da edificação também afetaram os valores de STI.

A média aritmética do índice de transmissão da fala obtida para o ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas foi de 0,47 classificando o desempenho do ginásio como “aceitável”. Considerando as posições do ambiente o valor mais baixo encontrado foi de 0,38 (pobre) e o mais elevado foi de 0,61 (bom). Os baixos valores de STI verificados indicam o comprometimento da inteligibilidade da palavra falada e refletem as perdas consonantais encontradas bastante significativas. A distância entre fonte/receptor no ginásio de esporte interfere menos nos valores de STI do que o elevado valor de TR.

Materiais absorventes e painéis reflexivos para a distribuição dos raios acústicos pelo ambiente são fatores que podem favorecer a inteligibilidade da fala. A utilização de materiais absorventes em proporção com outros materiais acústicos (reflexivos, difusores, placas acústicas móveis etc) contribuem para a adequação acústica do ambiente, favorecendo a inteligibilidade da fala. Os ginásios de esportes multifuncionais, como nos auditórios multifuncionais, a utilização de superfícies com

desempenhos acústicos variáveis pode ser uma opção para “ajustar” o ambiente para uma determinada atividade.

## **6.6. Viabilidade de intervenção acústica dos ginásios de esportes multifuncionais.**

Ao longo de toda a discussão dos resultados colocou-se a necessidade de adequação acústica dos espaços estudados. Nesse item é apresentado o resultado do estudo de viabilidade de intervenção acústica nos ginásios de esportes multifuncionais com a possível correção dos parâmetros acústicos analisados.

A adequação acústica consiste na melhoria dos parâmetros acústicos TR, EDT,  $D_{50}$ ,  $C_{80}$ , STI e %Alcons à funcionalidade que o ambiente requer. No caso de ginásios de esportes multifuncionais deve-se levar em consideração o grau de funcionalidade do ambiente. Se o ambiente é mais utilizado para música ou palavra falada, então se deve adequá-lo para aquele ou para este, sem que a adequação prejudique um ou outro. Os ginásios apresentam atividades similares, tanto para palavra falada quanto para música, não sendo possível identificar um grau de funcionalidade para os mesmos.

Barron (1983) propõe tipos de soluções para a variabilidade acústica de um ambiente multifuncional, que poderiam contribuir na melhoria também dos ginásios de esportes multifuncionais, pelas características funcionais semelhantes. São eles: a variação do volume interno da sala, a variação da absorção sonora do ambiente e instalação de painéis refletores. As duas primeiras soluções combinadas em proporção são viáveis para a adequação acústica dos três ginásios de esportes.

A variação do volume interno do ambiente implica diretamente a variação de seu tempo de reverberação. A utilização de painéis de forro acústicos absorventes pode ser tecnicamente mais viável. A variação da absorção sonora consiste, na maioria dos casos, em se cobrirem grandes superfícies refletoras do ambiente de material com elevados coeficientes de absorção sonora, o que permite inúmeras combinações entre superfícies refletoras e superfícies absorventes, variando os parâmetros acústicos: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição ( $D_{50}$ ),

clareza ( $C_{80}$ ), índice de transmissão da fala (STI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%Alconss).

Painéis refletores são utilizados, principalmente, para a distribuição do som no ambiente. Os painéis, como nos auditórios multifuncionais, são dispostos no teto, sobre os ouvintes, e sua utilização nas paredes laterais do ambiente, apesar de modificarem o seu tempo de reverberação, é uma solução possível, para a música ou para a palavra falada sem amplificação. Para Egan (1988) as superfícies refletoras do teto devem estar posicionadas de modo que a diferença de trajeto entre o som direto e o som refletido por elas seja igual ou menor que 10m, a fim de assegurar uma grande quantidade de “primeiras reflexões” à platéia. Nos ginásios multifuncionais para a música ou para palavra falada são utilizados sons com amplificação. Dependendo da quantidade de painéis refletores a sua utilização não seriam viáveis aos ginásios de esportes multifuncionais, pois prejudicariam a inteligibilidade da fala. Combinando esses materiais com os absorventes seria uma solução adequada.

Na adequação dos ginásios de esportes para múltiplos usos, há necessidade de acréscimo de absorção sonora para a redução dos tempos de reverberação em todas as freqüências, destacando-se primordialmente, no Ginásio Multidisciplinar da Unicamp, a freqüência de 500Hz, no Ginásio de Esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação as baixas freqüências (125Hz e 250Hz) e no Ginásio de esportes do Tênis Clube de Campinas a freqüência de 1000Hz, de modo que os valores do tempo de reverberação devem estar entre 0,8s e 1,8s atendendo tanto atividades com palavra falada quanto para música (MARSHALL E KLEPPER, 1999; EGAN, 1988; COOPER, 1976). Com a correção dos valores de TR, os valores de  $D_{50}$  e STI tendem a melhorar.

Nos ginásios de esportes multifuncionais, deve-se ressaltar, que emitindo-se o sinal sonoro, percebe-se que o som refletido na superfície chega ao ouvinte com certo atraso em relação ao som direto. Uma das maneiras propostas para corrigir esse fenômeno seria conseguir a eliminação de superfícies das refletoras presentes no ambiente, cujas distância crítica, são superiores a 17m. O tratamento acústico das

superfícies refletoras, substituindo ou revestindo-as com materiais acústicos absorventes é uma solução viável.

Na tentativa de quantificar a viabilidade de alteração de TR foram calculados os coeficientes de absorção dos ginásios de esportes multifuncionais segundo a fórmula de Sabine. A tabela 6.4. apresenta os dados utilizados e os valores encontrados para o coeficiente de absorção em função da frequência. As “superfícies” utilizadas para o cálculo do coeficiente de absorção, não levou em consideração a substituição do piso dos ginásios de esportes, mas apenas as paredes e a cobertura que por recomendação de profissionais do esporte devem ser superfícies lisas. Os valores de TR em função da frequência foram utilizados no cálculo foram os que apresentaram resultados mais elevados entre os pontos medidos.

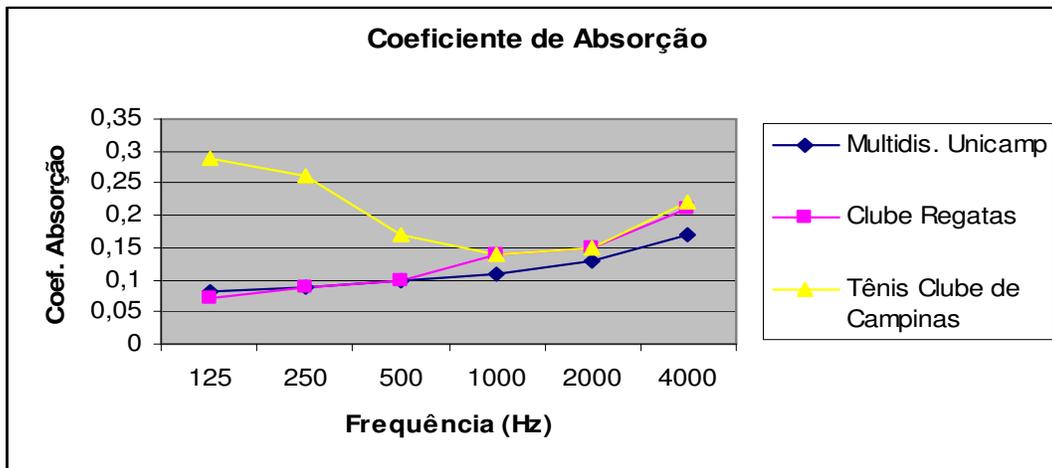
**Tabela 6.4 – Dados para o cálculo do “coeficiente de absorção” dos ginásios de esportes pela fórmula de Sabine.**

<b>GINÁSIO/FREQUENC.</b>		<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>VOL.</b>	<b>SUPERF.</b>
Multidisciplinar Unicamp	<b>TR</b>	8,87	7,49	6,80	6,07	5,05	3,99	76731,70	18044,42
Coef. de Absorção	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>		
Clube Regatas e Natação	<b>TR</b>	9,94	8,20	6,95	5,12	4,61	3,37	28107,40	6394,34
Coef. de Absorção	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,21</b>		
Tênis Clube Campinas	<b>TR</b>	2,33	2,61	3,99	4,77	4,38	3,10	13392,00	3166,90
Coef. de Absorção	<b><math>\alpha</math></b>	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>	<b>0,17</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>		

A figura 6.29 mostra o gráfico dos valores de coeficiente de absorção em função da frequência estimados, considerando apenas um tipo de material presente nos ginásios de esportes multifuncionais. O ginásio Multidisciplinar da Unicamp e o ginásio de esportes do Clube Campineiro de Regatas apresentaram coeficientes de absorção mais baixos que o do Tenis Clube de Campinas para frequências inferiores a 1000Hz, confirmando o caráter reflexivo e pouco absorvente das superfícies.

Para frequências superiores a 1000Hz o comportamento dos coeficientes de absorção são similares entre eles. Para todos eles há possibilidade de correção, ou

seja, adequação acústica, com a utilização de materiais absorventes sobre as superfícies ou a substituição das superfícies por materiais mais porosos (elevados coeficientes de absorção). Os ginásios têm superfícies suficientes para a adequação. Para as baixas frequências será necessários materiais que absorvam pelo mecanismo reativo (painéis vibrantes e ressonadores).



**Figura 6.29. – Coeficiente de Absorção dos ginásios multifuncionais.**

O comportamento das curvas do nível de pressão sonora em função da frequência para o ruído de fundo dos ginásios de esportes revela-se semelhantes na maioria dos pontos medidos. Os resultados de NPS (nível de pressão sonora) variam pouco em função da posição de medição. O nível de ruído medido revela que os ruídos incidentais não interferem nas atividades internas.

O nível de critério (NC) encontrado para os ginásios estão dentro das recomendações da norma NBR 10152, portanto não há necessidade de adequação acústica quanto a este parâmetro. De acordo com esse resultado os ginásios multifuncionais estudados não necessitam de adequação acústica quanto ao isolamento, devido as fontes de ruído externa. Porém, quando as atividades acontecem no seu interior (shows e jogos) os ruidos gerados são elevados e ele pode interferir nas

edificações vizinhas. Dos problemas de isolamento levantado, todos são possíveis de correção.

No Ginásio Multidisciplinar da Unicamp o ruído interno vem da abertura de circulação de ar, existente em todo o perímetro da edificação; da falta de isolamento sonoro adequado na cobertura; e da ausência de portas de isolamento acústico. Para a correção dos problemas, será necessário:

- o fechamento das aberturas com paredes apropriadas com o isolamento requerido. Para não prejudicar o conforto térmico, a utilização de dutos de ar no forro com atenuadores sonoros ou o tamponamento das grelhas;
- a utilização de forros acústicos com capacidade de isolamento adequado para a cobertura;
- a troca das portas comuns por portas acústicas.

Os ruídos internos que acontecem no interior do Ginásio de Esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação são transmitidos pelas aberturas das persianas em madeira e vidro, acima das arquibancadas; da falta de isolamento sonoro adequado no telhado do ginásio; da falta de isolamento sonoro adequado paredes do ginásio; e da ausência de portas para vedação acústica. Para a correção dos problemas, será necessário:

- o fechamento das aberturas com vidros acústicos (ou laminados) e madeira maciça caso queira preservar as mesmas características construtivas do ambiente. Como no ginásio Multidisciplinar da Unicamp para não prejudicar o conforto térmico pode se utilizar de dutos de ar com atenuadores sonoros ou o tamponamento das grelhas como forma de climatização do ambiente.
- a utilização de forros acústicos com capacidade de isolamento adequado para cobertura;
- a utilização de materiais absorventes nas paredes ao reduzirem a reverberação, colaboram no isolamento e no condicionamento acústico;

- a utilização de portas acústicas.

No Ginásio de Esportes do Tênis Clube de Campinas, o ruído interno é transmitido pela janela de telha de fibra translúcida; pela falta de isolamento sonoro adequado no telhado do ginásio; pela falta de isolamento sonoro adequado das paredes do ginásio e ausência de portas acústicas. Serão necessárias para a correção dos problemas praticamente as mesmas soluções adotadas no ginásio para o Ginásio do Clube Campineiro de Regatas e Natação.

## **CONCLUSÃO**

A pesquisa caracterizou acusticamente três ginásios de esportes: Ginásio Multidisciplinar da Unicamp, Ginásios de Esportes do Clube Campineiro de Regatas e Natação e Ginásio de Esportes do Tênis Clube de Campinas que foram avaliados, quanto à capacidade de absorção e isolamento do ambiente.

Os ginásios de esportes avaliados são multifuncionais e não possuem recursos de variabilidade acústica ou funcional para atender de forma plena os requisitos necessários quanto às atividades propostas para o ambiente (jogos, shows, feiras e palestras). Para palavra falada e execuções musicais, os parâmetros acústicos TR, EDT,  $D_{50}$ ,  $C_{80}$ , STI e %Alcon, não atendem com a funcionalidade ao requerido para ambientes. A modificação do tempo de reverberação e dos demais parâmetros propostos para qualidade sonora, no entanto, requer recursos de variabilidade acústica complexos.

Os valores obtidos dos parâmetros acústicos com exceção do ruído de fundo comprovam que os valores encontrados são inadequados para os diversos tipos de atividades proposta para o ambiente presentes, necessitando de correção. Os níveis de ruído de fundo para os ginásios de esportes estão dentro das recomendações da norma NBR 10152 (ABNT 1997). Esses valores comprovam-se adequação a edificação quanto ao isolamento dos ruídos vindos do lado externo da edificação.

Quantos aos materiais construtivos observa-se que os materiais de revestimento dos três ginásios de esporte têm características semelhantes mas existem variações

quanto aos materiais estruturais e quanto a forma da cobertura. Na forma da cobertura, os traçados dos raios apontam indicativos na sua maioria desfavoráveis quanto à adequação acústica. As paredes são todas em bloco de concreto, as coberturas são telhas de amianto, com exceção do ginásio Multidisciplinar que são de telhas metálicas, o piso no espaço da quadra é de madeira, com exceção ao clube Campineiro de Regatas e Natação que possui nas laterais à quadra piso de ardósia e as arquibancadas são todas em alvenaria. Esses materiais são bastante reflexivos, o que contribui para as reflexões sonoras, elevando os tempos reverberação, e influenciando os demais parâmetros avaliados (definição, clareza, STI e %Alcons).

As dimensões amplas, a distância fonte/receptor e as superfícies reflexivas dos ginásios de esportes multifuncionais estudados colaboram para que os parâmetros de avaliação acústica fossem inadequados. Essas características contribuem para que as reflexões tardias apresentem diferenças de trajetórias entre o som direto e os reflexivos maiores que os esperados para atrasos menores que 50ms. A utilização de materiais absorventes em substituição aos materiais reflexivos contribui para a variação do tempo de reverberação, da definição, da clareza e do índice de transmissão da fala, adequando acusticamente o ambiente.

As questões levantadas nesta pesquisa e a pouca bibliografia específica apontam para a necessidade de estimular, principalmente no ambiente acadêmico, pesquisas sobre a acústica de ginásios de esportes multifuncionais. Deste modo foi possível atingir os objetivos desta pesquisa, discutiu a contribuição dos elementos construtivos da edificação, da forma dos espaços e do desempenho acústico dos materiais.

Para trabalhos futuros recomenda-se a ampliação da investigação para ginásios de esportes multifuncionais com outras características arquitetônicas com o propósito de obter mais subsídios de comparação Sugere-se ainda:

- um aprofundamento na investigação do índice de transmissão da fala, especialmente fazendo-se a comparação com testes subjetivos de inteligibilidade de palavras realizados com ouvintes;
- a construção de modelos virtuais para serem simulados em programas computacionais de avaliação acústica de salas;
- a construção de modelos em escala reduzidas para serem avaliados acusticamente em câmaras reverberantes;
- avaliação acústica de pontos localizados nas arquibancadas (platéias) e também fora dos limites da quadra;
- a medição do ruído ambiental nas proximidades das edificações com os ginásios sem e com atividade, para verificar a influência sonora do ambiente no seu entorno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10151**: avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NB 101**: Tratamento Acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992. 7p.

BARRON, M. Subjective study of British symphony concert halls. *Acústica*, p.1-14, vol. 66, 1993.

BATISTA, Norma N.; SLAMA, Jules G. Uma avaliação da interação entre o projeto arquitetônico e o projeto acústico. *In*: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA I; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL I; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. Cd-Rom

BERANEK, L.L. Concert and Opera Halls – How they sound. **Acoustical Society of America**, 1996.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; GOMES, Márcio Henrique de Avelar. Técnicas de Medição para Acústica de Salas. Material didático para o curso de extensão universitária. Campinas: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2005. 66p.

BISTAFA, S. R. **Acústica Arquitetônica: Qualidade sonora em salas de audição crítica**. Descrição Detalhada. São Paulo: CNPQ, 2003. 25p. Disponível em: < <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ.html> >. Acesso em: 28 abr. 2003.

BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. São Paulo: 4ª edição, 2005. p. 261- 268.

BRÜEL & KJAER. **Technical Documentation: Building Acoustics System**. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 1996. 149p.

BRÜEL & KJAER. **Application Note: Measuring Speech Intelligibility Using DIRAC – Type 7841**. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2003. 24p.

BRÜEL & KJAER. **Product Data: DIRAC Room Acoustics Software Type 7841**. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2003. 8p.

BRÜEL & KJAER. **DIRAC Room Acoustics Software Type 7841: Instruction Manual**. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2003. 110p.

COOPER, J. **Building a recording studio**. 5th ed. Los Angeles: Synergy Group, Inc., 1996.

CORBIOLI, Nanci; "**Quem pensaria em fazer um estádio sozinho?**". São Paulo, n. 249, nov. 2000. Disponível em: < . Acesso em 28 mai. 2007.

COWAN, James. **Architectural Acoustics**. New York: The McGraw-Hill Companies, 2000. 57-58p.

DE MARCO, Conrado S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982. 129p.

DUANQI, Xiang; ZHENG, Wang; JINJING, Chen. Acoustic Design of the Gymnasium and Natatorium of Chinese National Olympic Sports Center. **Applied Acoustics**, v.34, n 4, p. 267-279. 1991.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustic**. New York, McGraw-Hill, 1988.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Minidicionário Aurélio**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira S. ,1977

FREITAS, Ruskin. O que é conforto. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9; Maceió. **Anais...** Maceió: ENCAC, 2005. p. 726-735. CD-Rom.

GERGES, S. N. Y; DEUS, M. J. Os efeitos da exposição á música e avaliação acústica do ambiente de trabalho em professores de academia de ginástica. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENCAC, 1999.CD-Rom.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído : Fundamentos e Controle**. 2ed. Florianópolis : NR, 2000. 670p.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002.175p.

GRAÇA, Valéria A.C. da. **Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas de rede estadual de São Paulo**. Campinas, 2002. 154f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Disponível em:  
<<http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000256532>>. Acesso em: 20 set. 2006.

GRANADO JR, Milton Vilhena. **Acústica Arquitetônica: Subsídios para Projetos de Salas para Palavra Falada (Teatro de palco Italiano)**. São Paulo, 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

HAAS, H. The influence of a single echo on the audibility of speech. **Journal of the acoustical society of America**, 1972.

HOOPER, Horace Everett. **The Encyclopaedia Britannica: a dictionary of arts, sciences, literature and general information**. 11<sup>th</sup>ed, 1911. Disponível em:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Encyclop%C3%A6dia\\_Britannica\\_Eleventh\\_Edition](http://en.wikipedia.org/wiki/Encyclop%C3%A6dia_Britannica_Eleventh_Edition)>. Acesso em: 25 jul. 2007.

IRVINE, Leland K; RICHARDS, Roy L. **Acoustic and Noise Control**. Malabar. Krieger Pub. Co.,1990. 194p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 3382**. Acoustics: Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Genova: 1997.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, **IEC 60268-16**. Sound System equipment – part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Switzerland: IEC, 2003. 28p.

JUNIOR, Luiz C. D.A.; SIMÕES, Antonio C. ; TRAVERZIM, Alexandre. **Análise do estresse situacional do “tipo A” em alunos/atletas de futsal de uma equipe**

**escolar.** Rev. bras. Educ. Fís. Esp., São Paulo, v.20, p.403-25, set. 2006. Suplemento n.5. Disponível em: <[http://www.usp.br/eef/xipalops2006/75\\_Anais\\_p403.pdf](http://www.usp.br/eef/xipalops2006/75_Anais_p403.pdf)>. Acesso em 30 jul. 2007.

JÚNIOR, Lineu Passeri. **Subsídios para o projeto de teatros e auditórios multifuncionais: recursos de variabilidade acústica.** São Paulo, 2008, 291p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

KNUDSEN, Vern O; HARRIS, Cyril M. Acoustical Designing in Architecture. **Acoustic Society of America.** 5 ed. 1988.

KUSAKAWA, Marisa. S; VIVEIROS, Elvira. B. Arquitetura de Shopping Centers: análise do conforto acústico. *In:* ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 20, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. Cd-Rom

KUTTRUFF, H. Reverberation in room acoustics. *In:* ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000a. p. 67–76. Cd-rom

KUTTRUFF, Heinrich. **Room Acoustics.** 4<sup>th</sup> ed. London: Spon Press, 2000b. 349p.

LAZZARINI, Victor E. P. **Elementos da Acústica.** Londrina, jul. 1998. Universidade Estadual de Campinas, 1998.

MARSH, Andrew. **Online information and course notes.** Australia: The school of architecture and fine arts – The University of Western Australia, 1999. Disponível em: <[http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320\\_EA/\\_web/Online\\_Course\\_on\\_Acoustics/menu.html](http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320_EA/_web/Online_Course_on_Acoustics/menu.html)>. Acesso em: 07 de outubro 2006.

MARSHALL, L.G.; KLEPPER, D. L. **Acoustic design: places for listening. Architectural acoustics: principles and practice.** New York, NY: John Wiley e Sons, Ind., pp 151-186, 1999.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural acoustics: principles and design.** Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1999. 446p.

MULLER, Swen; MASSARANI, Paulo. Medições da resposta em frequência de sistemas de sonorização. *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ÁUDIO, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SEMEA, 2002. 8p. Disponível em: <[www.cpdee.ufmg.br/~semea/anais/artigos/swenmuller.pdf](http://www.cpdee.ufmg.br/~semea/anais/artigos/swenmuller.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2007.

MÜLLER, Swen. Medir o STI. *In*: II SEMINÁRIO DE MÚSICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2005, São Paulo. **Proceedings online...** Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000102005000100001&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000102005000100001&lng=en&nrm=abn)>. Access on: 01 Apr. 2008.

NAVARRO, Manuelina P. N; PIMENTEL, Roberto L. Avaliação de conforto acústico em praças de alimentação de shopping centers. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, Maceió. **Anais...** Maceió: ENCAC, 2005. Cd-Rom.

NEUFERT, Ernest. **Arte de projetar em arquitetura.** 11ªed. São Paulo. 1996. p. 87-89, 371-373.

PAIXÃO, Dinara Xavier; SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti. A acústica da sala de aula. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 16, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Plêiade Ltda M E, 1995. p. 61-64.

PEUTZ, V. M. A. Articulation Loss of Consonants as a Criteria for Speech Transmission in a Room. **Journal of Audio Engineering Society**. v. 19, n. 12, Dec. 1971.

POPE, Joseph; KURAKATA, Kenji. Noise, Physical Acoustics, and Structural Acoustics and Vibration: Acoustics of Sports. **Journal of Acoustic Society of American**. v.120, No 5, November 2006. Sound inside a gymnasium. p 2.

PRADO, Luiz Cintra do. **Acústica Arquitetônica**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1963. 128p.

RIBEIRO, Maria Rosa Sá. Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study. *In*: FORUM ACUSTICUM SEVILLA, 2002, Sevilla. **Anais...** Sevilla: FORUM ACUSTICUM, 2002. Disponível em <<http://www.ia.csic.es/Sea/sevilla02/rba02013.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2008.

RICHTER, Roberto Paulo. O ensino da acústica na escola de arquitetura. **Boletim mensal brasileiro de acústica**. v. 2, n. 46, p. 1-4, Fev. 1962.

RYCHTÁRIKOVÁ, Monika; et al. Architectural Guidelines for Living Rooms, Classrooms, Offices, Sports Facilities and Restaurants. *In*: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION OF NOISE CONTROL ENGINEERING, 33, 2004, Prague. **Anais...** Prague: Inter-noise, 2004, CD-Rom.

RYCHTÁRIKOVÁ, Monika; VOORDEN, Marinus van der; SAHER, Konca. **The relevance of modeling the sound directivity in ray tracing software**. 4. Sachtick; Acoustics Zvolen. Set. 2003.

RUSSO, I. C. P. **Acústica e Psicoacústica aplicadas à Fonoaudiologia**. 2ª ed. Ver. Ampl. São Paulo: Lovise, 1999.

SABINE, Wallace Clement. **Collected papers on acoustics**. New York: Dover, c1964.

SALA, E.; VILJANEN, V. Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms. **Applied Acoustics**. v. 45, n. 1, p. 81-91, 1995.

SCHAUDINISCHKY, L. H.; SCHWARTZ, A. The sports ground as a noise source. **Applied Acoustics**, v.5, n 2 , p. 119-131, Apr. 1971.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 3. ed. São Paulo: Termo-acústica Ltda., 1997. p.72-174.

SILVA, Roberto Starck Nogueira da. **Inteligibilidade da Palavra Falada em Salas Destinadas a Comunicação Verbal**. São Carlos, 1983, 230p. Dissertação (Mestrado) – escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SINGER, M. J. **Accoustic in Schools**. U.S. Departament of Education. 20p. 2003.

SMITH, M. **The Accoustical Environmet**. U.S. Departament of Education. 20p. 2002.

SOLANO VIANNA, Néelson; GONÇALVES, Joana Carla. **“Iluminação e Arquitetura”**. Uniabc. São Paulo. 2001.

SOUZA, Lea C. L; ALMEIDA, M. G; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica**: ouvindo a arquitetura, São Paulo: L. C. L de Souza, 2003. 149p.

TISSEYRE, A.; MOULINIER, A.; ROURD, Y. Intelligibility in various rooms: comparing its assessment by (RA)STI measurement with a direct measurement. **Applied Acoustics**. v. 53, n. 1-3, p. 179-191, 1998.

TOCCI, Gregory C. Room noise criteria – he state-of-the-art in the year 2000. *In* ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 133–153.

VIVEIROS, Elvira B. Erros e Mitos em Acústica Arquitetônica. **In:** V CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, Santiago do Chile, 2006. 10p.

VIVEIROS, Elvira B. Acústica de salas & técnica impulsivas. *In:* ENCONTRO NACIONAL, 3; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 1, 1995, Gramado, **Anais...** Gramado: CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 1995.p. 725-730. CD-Rom.

VORLÄNDER, M.; BIETZ, H. 1994. Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time. **Acústica**. v. 80. pp. 205–215.

YAMASAKI, Yoshio. **Measurement of spatial information in sound fields by closely located four microphones**. Tokyo, 1992, 8p. Artigo - Science and Engineering Laboratory, Waseda University. Disponível em:  
<<http://www.acoust.rise.waseda.ac.jp/publications/happyou/ica/ica-14-beijing-1992.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2007.

YUAN, Zheng Kai; YUAN, Sun Ming. Acoustic Refurbishment of a Large-Volume Gymnasium by Means of a Lightweight Suspended Absorbing Ceiling. **Applied Acoustics**, v.29, n 4 , p. 305-311, Oct. 1990.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Planilha para coleta de dados dos ginásios avaliados

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Ginásio de Esportes: Endereço:	Média de capacidade:
Data das medidas em campo:	Horário das medidas em campo:
Memorial descritivo dos materiais da sala:  Piso: Teto: Parede: Arquibancada: Portas: Janelas: Estrutura:	
Croqui das salas de objeto de pesquisa:  Área: (m <sup>2</sup> )      Volume: (m <sup>3</sup> )      Pé direito: (m)	
Mobiliário existente na sala:	
Medidas realizadas:	Metodologia:

**APÊNDICE B – Tempo de reverberação em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

TR (s)		FREQUÊNCIA (Hz)					
FONTES	PONTOS	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P1	5,22	6,23	6,21	5,77	4,79	3,51
	P2	4,88	6,03	6,35	5,56	4,49	3,11
	P3	5,01	5,80	6,67	5,60	4,33	2,99
	P4	6,11	5,48	5,81	4,65	4,39	3,02
	P5	5,06	5,71	6,06	5,12	3,94	2,67
	P6	5,04	5,82	6,39	5,94	4,60	3,16
F2	P1	5,24	5,93	6,22	6,01	4,91	3,49
	P2	4,56	5,16	6,20	5,25	4,57	3,16
	P3	5,21	6,23	6,73	5,77	4,62	3,37
	P4	4,92	5,74	6,7	5,89	5,05	3,99
	P5	4,34	5,69	6,57	5,86	4,88	3,83
	P6	4,89	5,7	6,32	5,92	4,92	3,78
F3	P1	4,55	5,67	6,80	5,83	4,97	3,8
	P2	4,32	5,27	6,20	5,81	4,82	3,49
	P3	4,71	5,81	6,28	5,19	4,47	2,97
	P4	5,13	5,53	6,37	5,91	4,66	3,05
	P5	4,75	4,79	6,04	5,53	4,28	2,8
	P6	4,69	5,70	6,31	5,58	4,46	2,8
F4	P1	5,67	6,00	6,43	5,52	4,84	3,59
	P2	4,93	5,66	6,10	5,44	4,56	3,28
	P3	6,40	5,81	6,12	5,57	4,81	3,41
	P4	8,87	7,49	5,71	5,16	4,04	2,73
	P5	4,57	5,65	6,45	5,76	4,77	3,62
	P6	4,84	5,76	6,17	6,00	4,86	3,72
F5	P1	5,34	5,98	6,43	5,83	5,01	3,79
	P2	4,86	5,62	6,24	6,07	4,90	3,75
	P3	5,57	5,88	6,46	5,99	5,00	3,78
	P4	5,29	6,00	6,56	6,03	4,82	3,44
	P5	5,00	5,82	6,44	5,65	4,76	3,29
	P6	6,74	6,57	6,17	5,30	4,97	3,65
F6	P1	4,82	5,65	6,33	5,76	4,88	3,74
	P2	4,90	5,79	6,32	5,81	4,76	3,49
	P3	5,26	5,76	6,28	5,96	4,45	3,08
	P4	5,37	6,34	5,62	4,87	3,67	3,4
	P5	4,66	5,75	6,71	5,96	4,79	3,46
	P6	4,98	5,88	6,76	5,95	4,86	3,51

**APÊNDICE C – Tempo de Decaimento Inicial em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

EDT (s)		FREQÜÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P1	4,27	4,52	4,97	6,45	5,81	4,43	2,96
	P2	2,44	3,93	4,85	5,90	5,28	3,83	2,57
	P3	2,57	4,40	5,31	5,89	4,64	3,83	0,02
	P4	3,51	5,61	5,20	5,52	4,40	3,46	2,32
	P5	2,51	3,59	4,74	5,71	4,79	3,44	0,01
	P6	2,48	3,48	4,85	6,35	5,25	4,00	5,39
F2	P1	3,14	4,43	4,81	6,43	5,48	4,33	2,80
	P2	3,21	3,91	5,35	6,64	5,44	3,53	1,66
	P3	2,94	4,49	5,76	6,73	5,79	4,20	4,50
	P4	3,74	3,90	5,63	6,14	5,77	4,29	3,31
	P5	3,43	3,55	4,89	6,44	5,27	4,02	2,59
	P6	3,17	3,77	5,37	5,67	5,40	4,13	2,79
F3	P1	3,86	4,04	4,67	6,08	5,71	4,36	3,19
	P2	2,73	3,04	4,24	5,75	5,25	3,63	2,19
	P3	2,31	4,72	4,78	5,61	4,72	3,41	1,94
	P4	2,98	4,17	5,94	6,21	5,69	4,21	2,57
	P5	0,10	3,85	4,44	5,05	5,18	3,90	0,02
	P6	1,67	3,43	4,46	6,25	4,85	2,40	0,01
F4	P1	2,62	2,98	5,62	6,56	5,37	4,53	3,33
	P2	2,75	3,49	5,07	5,64	4,34	3,3	2,47
	P3	3,77	4,73	5,41	5,90	4,87	3,62	2,69
	P4	4,07	4,43	5,67	4,44	4,00	2,60	3,28
	P5	3,16	4,83	5,60	6,31	5,23	4,22	2,82
	P6	3,70	4,53	5,57	6,57	5,88	4,34	3,23
F5	P1	3,01	3,76	5,05	6,22	5,20	4,26	3,21
	P2	4,42	4,41	5,16	6,21	5,62	4,46	2,88
	P3	4,08	4,15	5,48	6,44	5,14	4,07	2,71
	P4	2,59	3,65	4,27	6,39	6,06	4,50	2,33
	P5	3,12	3,54	5,42	5,89	5,42	3,92	2,32
	P6	3,49	7,02	6,17	5,69	4,77	3,68	2,49
F6	P1	3,56	4,43	6,13	6,46	5,35	4,01	2,69
	P2	1,94	4,36	5,63	6,41	5,52	3,76	2,34
	P3	3,41	4,89	5,52	6,12	5,01	3,50	2,08
	P4	3,91	4,80	5,75	5,95	5,33	3,73	2,50
	P5	2,60	5,65	5,88	6,63	5,49	4,24	2,37
	P6	3,40	4,46	6,10	6,94	6,24	4,46	3,09

**APÊNDICE D – Definição em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

D50 (-)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b>F1</b>	<b>P1</b>	0,56	0,57	0,44	0,17	0,25	0,33	0,54
	<b>P2</b>	0,83	0,72	0,44	0,45	0,58	0,59	0,79
	<b>P3</b>	0,78	0,63	0,38	0,56	0,64	0,83	0,90
	<b>P4</b>	0,77	0,64	0,41	0,43	0,55	0,58	0,71
	<b>P5</b>	0,79	0,70	0,46	0,24	0,63	0,82	0,91
	<b>P6</b>	0,79	0,71	0,46	0,24	0,61	0,80	0,88
<b>F2</b>	<b>P1</b>	0,66	0,53	0,43	0,17	0,43	0,52	0,66
	<b>P2</b>	0,81	0,76	0,52	0,38	0,66	0,71	0,85
	<b>P3</b>	0,76	0,77	0,60	0,24	0,63	0,81	0,89
	<b>P4</b>	0,43	0,35	0,34	0,21	0,11	0,41	0,39
	<b>P5</b>	0,43	0,30	0,26	0,22	0,11	0,43	0,51
	<b>P6</b>	0,36	0,27	0,23	0,17	0,07	0,30	0,33
<b>F3</b>	<b>P1</b>	0,39	0,31	0,27	0,21	0,07	0,23	0,38
	<b>P2</b>	0,57	0,43	0,30	0,25	0,27	0,35	0,44
	<b>P3</b>	0,65	0,62	0,49	0,27	0,51	0,66	0,76
	<b>P4</b>	0,67	0,57	0,46	0,12	0,49	0,73	0,77
	<b>P5</b>	0,94	0,78	0,67	0,87	0,83	0,85	0,94
	<b>P6</b>	0,85	0,80	0,58	0,50	0,67	0,83	0,92
<b>F4</b>	<b>P1</b>	0,59	0,64	0,52	0,17	0,46	0,53	0,74
	<b>P2</b>	0,81	0,68	0,45	0,41	0,59	0,53	0,72
	<b>P3</b>	0,59	0,49	0,32	0,17	0,39	0,34	0,69
	<b>P4</b>	0,80	0,58	0,24	0,68	0,64	0,79	0,89
	<b>P5</b>	0,58	0,62	0,42	0,23	0,43	0,61	0,7
	<b>P6</b>	0,40	0,39	0,32	0,20	0,13	0,51	0,41
<b>F5</b>	<b>P1</b>	0,27	0,21	0,18	0,16	0,09	0,22	0,42
	<b>P2</b>	0,35	0,32	0,24	0,15	0,07	0,15	0,25
	<b>P3</b>	0,43	0,44	0,33	0,21	0,11	0,29	0,39
	<b>P4</b>	0,60	0,57	0,45	0,19	0,43	0,52	0,67
	<b>P5</b>	0,71	0,62	0,50	0,17	0,48	0,41	0,58
	<b>P6</b>	0,56	0,48	0,34	0,21	0,34	0,34	0,47
<b>F6</b>	<b>P1</b>	0,48	0,48	0,35	0,17	0,13	0,33	0,31
	<b>P2</b>	0,65	0,51	0,38	0,23	0,25	0,35	0,29
	<b>P3</b>	0,78	0,55	0,41	0,35	0,48	0,67	0,80
	<b>P4</b>	0,40	0,31	0,21	0,12	0,16	0,24	0,27
	<b>P5</b>	0,60	0,44	0,43	0,18	0,27	0,29	0,48
	<b>P6</b>	0,57	0,50	0,32	0,14	0,31	0,34	0,42

**APÊNDICE E – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

C80 (dB)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P1	1,33	1,66	-0,51	-5,95	-3,85	-1,76	2,63
	P2	6,43	4,2	-0,34	-0,06	2,02	2,07	6,40
	P3	5,73	2,73	-1,03	1,94	2,92	7,24	10,00
	P4	5,25	2,81	-1,27	-0,62	1,40	2,21	5,15
	P5	5,41	4,22	0,13	-3,10	2,87	7,12	10,51
	P6	5,39	4,36	0,06	-3,18	2,53	6,19	8,71
F2	P1	2,93	1,01	-0,90	-6,28	-0,74	0,84	3,48
	P2	6,46	5,19	0,44	-1,92	3,03	4,38	8,28
	P3	5,07	5,35	1,80	-4,73	2,32	6,41	9,25
	P4	-1,06	-1,58	-1,23	-4,54	-7,18	-0,51	-0,68
	P5	0,63	-1,99	-2,48	-3,44	-6,51	0,37	1,75
	P6	-0,44	-1,18	-2,48	-3,69	-5,11	-0,69	-0,05
F3	P1	-0,17	-1,68	-3,51	-4,04	-7,31	-3,2	-0,24
	P2	0,26	-1,41	-3,23	-3,94	-3,58	-0,99	-0,11
	P3	2,85	2,22	-0,22	-4,16	0,39	2,89	5,03
	P4	3,13	2,66	-0,05	-6,60	0,40	4,99	6,23
	P5	11,77	5,61	3,22	8,70	7,11	7,75	11,85
	P6	7,61	6,17	1,52	0,20	3,18	7,08	10,92
F4	P1	1,60	2,48	0,45	-6,50	-0,27	0,96	4,92
	P2	6,34	4,35	-0,24	-0,92	2,08	1,78	5,25
	P3	1,74	0,40	-2,09	-4,66	-0,84	-0,86	4,61
	P4	6,39	2,08	-4,46	3,41	2,68	5,87	9,30
	P5	1,13	2,06	-1,19	-4,19	-0,52	2,55	4,50
	P6	-2,10	-0,59	-2,52	-4,64	-6,37	1,36	0,09
F5	P1	-0,86	-1,83	-2,30	-4,01	-3,19	-2,30	1,45
	P2	-0,47	-0,49	-1,44	-5,00	-5,79	-4,13	0,06
	P3	-0,38	-0,13	-1,20	-3,62	-5,78	-2,03	0,75
	P4	3,20	2,52	0,28	-3,87	-0,19	0,76	4,87
	P5	4,48	3,34	2,17	-2,26	1,00	-0,63	3,61
	P6	0,77	0,47	-1,16	-4,18	-1,91	-1,37	1,92
F6	P1	0,02	1,85	-1,85	-5,06	-6,35	-1,66	-0,87
	P2	-3,11	-4,02	-4,11	-10,63	-4,9	-5,89	-3,14
	P3	5,65	0,91	-1,25	-2,00	-0,23	3,48	6,68
	P4	-0,38	-1,85	-3,00	-5,48	-4,89	-2,39	-0,42
	P5	3,08	0,31	-0,45	-4,29	-3,57	-2,83	1,00
	P6	2,81	1,12	-2,56	-6,68	-2,9	-1,42	0,66

**APÊNDICE F – Nível de pressão sonora em função de freqüência medidos em bandas de 1/1 oitava obtidos no exterior do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.**

NPS dB(A)	FREQUÊNCIA (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
P1	60,4	53,7	48,6	43,9	40,6	35,5	32,7	23,4
	55,7	53,0	49,0	46,4	42,3	44,3	36,6	27,2
	54,7	56,5	51,7	48,3	44,3	38,4	31,3	24,1
P2	55,5	50,4	47,1	46,7	45,0	40,5	34,4	28,0
	54,1	46,8	43,9	47,0	47,4	37,5	31,0	31,0
	57,2	51,8	46,6	43,4	39,4	39,6	29,4	23,0
P3	57,7	49,9	46,8	46,3	49,3	40,0	31,4	20,8
	58,7	48,4	48,5	45,4	45,5	41,5	31,9	24,9
	56,8	52,8	45,1	48,2	46,0	40,7	31,6	22,6
P4	64,9	53,0	50,2	47,6	46,7	44,1	34,8	25,4
	55,3	49,3	48,4	48,3	44,6	46,8	34	25,3
	58,5	50,6	47,4	44,3	43,2	37,2	31,2	24,2
P5	55,0	50,7	47,1	47,2	47,0	43,1	38,8	33,7
	53,0	51,1	48,3	46,4	46,8	38,7	32,0	24,3
	59,1	51,1	49,9	46,8	47,5	39,0	32,1	24,7
P6	53,5	52,6	47,3	45,7	44,5	38,4	33,2	23,8
	55,6	50,7	49,3	49,5	48,3	44,1	34,3	25,4
	55,6	50,6	48,1	46,3	47,0	39,0	36,8	22,8
P7	63,5	59,2	54,7	51,8	50,8	47,9	36,5	27,5
	63,2	59,8	54,3	51,0	52,8	44,1	36,7	28,8
	57,4	54,4	52,2	51,1	51,0	44,7	37,2	25,3

**APÊNDICE G – Tempo de reverberação em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

TR (s)		FREQUÊNCIA (Hz)					
FONTES	PONTOS	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	6,46	6,23	5,97	4,80	4,19	3,02
	P02	5,47	6,46	5,94	4,49	4,09	2,90
	P03	6,60	7,36	6,47	4,98	4,31	3,09
	P04	7,01	6,43	6,25	4,82	4,31	3,02
	P05	7,35	6,98	6,30	4,88	4,33	3,16
	P06	7,27	7,10	6,33	4,88	4,37	3,12
	P07	7,74	6,92	6,63	4,75	4,27	3,13
	P08	7,51	7,16	6,36	4,92	4,37	3,19
	P09	6,95	7,04	6,51	4,79	4,61	3,32
	P10	7,29	7,04	6,17	4,79	3,92	2,92
	P11	6,51	6,89	6,27	4,84	4,24	3,02
	P12	6,56	6,85	6,52	4,95	4,48	3,22
	P13	7,20	7,27	6,30	5,07	4,22	3,04
	P14	5,64	6,60	6,02	4,91	4,31	2,96
	P15	5,58	6,46	6,11	4,82	4,28	3,06
F2	P01	7,28	7,49	6,28	4,88	4,52	3,21
	P02	6,69	7,46	6,57	4,71	4,41	3,20
	P03	7,43	7,59	6,35	4,81	4,50	3,26
	P04	7,54	7,72	6,6	4,88	4,32	3,24
	P05	7,70	7,98	6,76	4,86	4,47	3,22
	P06	9,78	8,03	6,30	5,00	4,19	2,81
	P07	9,39	7,93	6,41	5,07	4,49	3,12
	P08	8,97	7,73	6,46	4,88	3,99	2,95
	P09	9,84	8,2	6,55	4,97	4,38	3,07
	P10	9,94	7,97	6,57	4,93	4,58	2,92
	P11	7,45	7,48	6,68	5,12	4,43	3,29
	P12	7,99	7,72	6,17	4,94	4,51	3,24
	P13	7,65	7,77	6,27	4,97	4,51	3,29
	P14	7,26	7,20	6,46	4,87	4,50	3,28
	P15	6,66	7,71	6,20	4,90	4,56	3,35
F3	P01	6,32	6,51	6,12	4,71	4,02	2,75
	P02	5,90	6,51	6,03	4,78	4,09	2,90
	P03	6,82	7,11	6,10	4,67	4,31	3,17
	P04	6,43	7,02	6,31	4,85	4,21	2,87
	P05	7,47	7,28	6,16	4,89	3,90	2,90
	P06	7,56	7,49	6,70	5,04	4,48	3,31
	P07	7,68	7,43	6,40	4,80	4,44	3,18
	P08	7,59	7,38	6,40	4,72	4,14	3,04
	P09	6,83	7,95	6,43	4,86	4,41	3,27
	P10	7,52	7,32	6,95	5,10	4,60	3,37
	P11	6,46	7,31	6,58	4,94	4,34	3,04
	P12	6,75	7,07	6,32	4,80	4,38	3,25
	P13	7,02	7,19	6,17	4,87	4,40	3,20
	P14	6,47	6,69	5,97	5,02	4,29	2,93
	P15	6,21	6,56	6,08	4,91	4,34	3,16

**APÊNDICE H – Tempo de Decaimento Inicial em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

EDT (s)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	2,41	4,58	6,08	5,67	4,09	3,29	2,12
	P02	0,79	4,48	6,36	5,54	4,17	3,44	2,31
	P03	0,90	6,10	6,83	6,14	4,32	3,77	2,57
	P04	2,76	7,26	7,67	6,03	4,67	4,18	2,62
	P05	4,66	5,95	7,49	6,26	4,60	4,23	2,67
	P06	5,05	6,84	8,07	6,97	5,20	4,41	3,15
	P07	3,58	7,42	8,04	6,88	4,80	4,14	2,79
	P08	6,85	6,80	7,45	6,80	5,21	4,83	3,20
	P09	5,46	5,88	7,65	7,00	5,58	4,57	3,14
	P10	5,04	6,41	8,11	7,17	5,12	4,38	3,04
	P11	4,61	6,79	7,76	6,56	5,12	4,42	2,90
	P12	6,06	7,60	8,26	7,05	4,98	4,38	2,86
	P13	5,61	5,78	8,46	6,95	4,72	4,07	3,06
	P14	7,48	4,68	6,89	5,88	4,55	4,30	3,03
	P15	10,22	6,68	5,80	5,62	5,02	4,63	3,20
F2	P01	1,54	7,31	7,81	6,94	5,20	4,59	3,23
	P02	4,73	7,42	7,89	7,06	5,13	4,73	3,26
	P03	1,94	8,37	8,60	6,83	5,03	4,20	3,03
	P04	6,83	7,88	8,26	7,27	5,20	4,20	2,69
	P05	18,08	7,92	8,83	7,27	4,82	4,27	3,08
	P06	17,46	10,79	10,14	6,88	5,24	3,95	2,41
	P07	18,45	8,49	8,74	6,80	5,00	4,33	2,94
	P08	0,10	9,74	9,39	6,29	4,64	3,98	2,77
	P09	0,10	9,97	8,83	6,85	4,53	4,01	2,72
	P10	13,74	8,83	9,37	6,93	4,87	3,99	2,79
	P11	4,07	8,22	9,16	7,18	4,78	4,45	2,86
	P12	3,81	10,38	8,73	7,31	5,11	4,30	2,79
	P13	4,51	8,98	8,64	6,97	4,65	4,39	2,89
	P14	4,84	6,35	7,45	6,84	4,95	4,57	3,28
	P15	0,20	7,48	7,85	7,06	5,38	4,41	3,36
F3	P01	2,68	5,90	6,73	6,21	4,82	4,05	2,81
	P02	5,18	5,22	6,29	6,28	4,69	4,16	2,96
	P03	3,74	6,10	8,11	6,80	5,14	4,48	2,96
	P04	5,84	6,39	8,20	6,86	4,94	4,19	2,77
	P05	6,08	6,03	8,18	6,84	4,95	4,01	2,88
	P06	5,20	7,42	8,24	6,82	5,27	4,85	3,37
	P07	4,31	7,14	7,80	7,18	5,49	4,93	3,20
	P08	3,02	6,18	8,23	7,35	5,22	4,49	3,04
	P09	1,71	6,92	8,83	7,27	5,27	4,61	3,03
	P10	3,49	6,85	8,27	6,74	5,09	4,57	3,22
	P11	2,98	6,77	7,72	7,12	4,50	3,74	2,68
	P12	3,83	7,58	8,58	6,66	4,76	4,45	3,00
	P13	3,96	7,83	8,14	6,87	4,77	4,19	2,71
	P14	1,68	6,52	7,10	5,56	4,32	3,68	2,27
	P15	1,69	4,78	6,34	5,78	4,30	3,67	2,43

**APÊNDICE I – Definição em função da freqüência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

D50 (-)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	0,16	0,13	0,11	0,13	0,16	0,18	0,30
	P02	0,16	0,12	0,13	0,13	0,13	0,19	0,25
	P03	0,30	0,18	0,17	0,12	0,11	0,18	0,25
	P04	0,27	0,21	0,14	0,09	0,09	0,13	0,24
	P05	0,25	0,21	0,12	0,11	0,10	0,15	0,20
	P06	0,39	0,29	0,20	0,17	0,16	0,23	0,31
	P07	0,41	0,39	0,22	0,18	0,20	0,29	0,42
	P08	0,51	0,49	0,32	0,20	0,32	0,45	0,61
	P09	0,46	0,38	0,31	0,22	0,31	0,34	0,50
	P10	0,42	0,35	0,23	0,16	0,26	0,22	0,43
	P11	0,47	0,42	0,26	0,16	0,32	0,33	0,53
	P12	0,59	0,45	0,26	0,43	0,42	0,48	0,64
	P13	0,66	0,57	0,34	0,56	0,54	0,65	0,77
	P14	0,63	0,55	0,39	0,53	0,69	0,75	0,84
	P15	0,57	0,41	0,23	0,19	0,48	0,57	0,68
F2	P01	0,56	0,39	0,26	0,13	0,23	0,37	0,54
	P02	0,60	0,41	0,23	0,11	0,32	0,35	0,44
	P03	0,44	0,28	0,08	0,13	0,27	0,17	0,26
	P04	0,54	0,28	0,08	0,42	0,35	0,30	0,41
	P05	0,47	0,33	0,09	0,27	0,29	0,29	0,46
	P06	0,57	0,18	0,32	0,42	0,61	0,54	0,64
	P07	0,52	0,29	0,08	0,30	0,35	0,26	0,39
	P08	0,48	0,28	0,09	0,15	0,28	0,25	0,41
	P09	0,61	0,30	0,13	0,37	0,44	0,42	0,48
	P10	0,52	0,28	0,07	0,33	0,36	0,43	0,59
	P11	0,38	0,20	0,09	0,06	0,24	0,23	0,37
	P12	0,37	0,29	0,10	0,06	0,23	0,17	0,22
	P13	0,31	0,22	0,10	0,04	0,18	0,24	0,38
	P14	0,38	0,36	0,21	0,13	0,25	0,25	0,37
	P15	0,24	0,33	0,28	0,15	0,26	0,33	0,49
F3	P01	0,38	0,40	0,26	0,17	0,44	0,40	0,59
	P02	0,70	0,52	0,37	0,57	0,62	0,50	0,66
	P03	0,52	0,45	0,25	0,10	0,32	0,26	0,44
	P04	0,66	0,56	0,25	0,39	0,46	0,63	0,79
	P05	0,68	0,64	0,30	0,52	0,57	0,63	0,71
	P06	0,51	0,60	0,29	0,20	0,32	0,44	0,62
	P07	0,44	0,50	0,22	0,12	0,27	0,35	0,53
	P08	0,34	0,37	0,19	0,15	0,18	0,30	0,42
	P09	0,35	0,37	0,26	0,16	0,16	0,21	0,36
	P10	0,35	0,44	0,20	0,19	0,23	0,23	0,35
	P11	0,29	0,25	0,14	0,10	0,10	0,18	0,21
	P12	0,36	0,27	0,13	0,07	0,08	0,16	0,19
	P13	0,24	0,30	0,17	0,09	0,10	0,12	0,16
	P14	0,41	0,32	0,20	0,12	0,16	0,22	0,28
	P15	0,35	0,26	0,14	0,14	0,13	0,22	0,20

**APÊNDICE J – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

C80 (dB)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	-0,99	-2,38	-3,81	-1,35	-1,23	-0,66	0,66
	P02	-1,46	-1,74	-2,02	-3,15	-3,32	-1,59	-0,29
	P03	-1,58	-3,14	-5,88	-6,28	-5,23	-3,62	-1,50
	P04	-3,45	-2,28	-5,78	-8,48	-7,33	-5,14	-1,93
	P05	-3,28	-3,63	-6,46	-7,82	-5,48	-4,04	-3,45
	P06	-1,68	-3,66	-5,58	-6,15	-5,6	-3,71	-1,92
	P07	-1,37	-1,20	-4,99	-5,64	-4,95	-2,69	0,52
	P08	0,63	0,11	-2,74	-5,49	-2,54	-0,22	2,84
	P09	-0,59	-1,78	-3,02	-4,83	-2,46	-1,50	1,32
	P10	-1,28	-2,39	-4,49	-6,01	-2,93	-3,22	0,83
	P11	-0,44	-1,11	-4,25	-6,41	-2,29	-0,97	2,77
	P12	1,90	0,01	-3,55	-0,70	-0,88	0,75	4,18
	P13	2,94	1,49	-2,34	1,31	1,33	3,51	6,29
	P14	2,52	1,08	-1,65	0,91	3,80	5,25	8,18
	P15	1,85	-0,65	-4,89	-5,51	0,12	1,97	4,13
F2	P01	0,81	-1,42	-3,76	-7,36	-4,00	-0,94	1,78
	P02	1,52	-0,92	-4,36	-7,41	-2,64	-1,55	0,22
	P03	0,63	-3,00	-5,00	-4,10	-2,13	-2,38	-1,05
	P04	2,53	-1,00	-5,90	-0,75	-1,33	-0,71	0,92
	P05	0,77	-2,02	-4,92	-2,16	-2,32	-1,68	1,21
	P06	1,67	-3,5	-2,85	-0,96	2,39	1,16	3,11
	P07	1,18	-1,95	-7,12	-2,61	-1,65	-3,47	-0,65
	P08	-0,46	-3,59	-7,89	-6,46	-3,34	-4,31	-0,71
	P09	2,30	-2,87	-7,40	-1,91	-0,54	-1,14	0,08
	P10	0,21	-3,24	-9,49	-2,48	-1,82	-0,98	2,02
	P11	-0,70	-2,99	-4,02	-3,75	-2,87	-2,15	0,19
	P12	-0,84	-1,95	-5,21	-4,04	-2,44	-2,79	-1,62
	P13	-1,55	-3,70	-4,09	-5,93	-3,82	-1,86	0,27
	P14	-2,18	-1,71	-4,86	-7,41	-3,44	-3,40	-0,77
	P15	-5,31	-1,84	-3,49	-6,67	-3,44	-1,96	0,76
F3	P01	-1,91	-1,61	-4,39	-5,97	-0,36	-0,98	2,62
	P02	3,80	0,85	-1,79	1,44	2,70	1,00	4,09
	P03	0,48	-0,28	-3,58	-7,48	-2,22	-2,54	0,75
	P04	3,10	1,45	-4,16	-1,66	0,28	3,30	6,60
	P05	3,89	3,27	-3,04	0,69	1,93	3,40	5,28
	P06	0,26	2,07	-3,69	-5,56	-2,32	-0,26	2,87
	P07	-0,69	1,09	-4,01	-7,85	-3,15	-1,22	2,18
	P08	-2,19	-2,07	-4,86	-6,64	-5,35	-2,47	0,53
	P09	-2,59	-1,45	-3,90	-6,30	-5,32	-4,28	-0,63
	P10	-2,57	-0,65	-5,64	-5,85	-4,46	-3,99	-1,38
	P11	-3,19	-3,70	-6,21	-6,21	-5,32	-2,42	-1,17
	P12	-0,62	-3,91	-6,87	-8,25	-6,26	-4,04	-2,71
	P13	-2,25	-3,27	-5,60	-7,81	-6,67	-4,55	-2,72
	P14	-0,55	0,17	-2,40	-4,37	-2,99	-2,27	0,02
	P15	-0,99	-1,65	-4,11	-2,26	-1,07	-0,60	-0,28

**APÊNDICE K – Nível de pressão sonora em função de freqüência medidos em bandas de 1/1 oitava obtidos no exterior do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

<b>NPS (dB(A))</b>	<b>FREQUÊNCIA (Hz)</b>								
	<b>31,5</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>P01</b>	65,4	63,6	56,6	53,6	54,9	51,8	46,6	41,9	34,99
<b>P02</b>	64,4	61,7	52,8	52,1	52,3	50,4	42,6	34,7	28,7
<b>P03</b>	64,8	64,3	57,6	54,7	52,9	52,2	46,6	43,4	36,3
<b>P04</b>	66,7	63,2	57,4	54,0	53,0	50,8	46,6	40,5	32,4
<b>P05</b>	64,5	61,0	56,1	52,5	54,3	51,5	46,2	37,9	27,7
<b>P06</b>	65,6	62,5	56,2	53,3	53,1	51,8	54,1	44,0	34,6
<b>P07</b>	64,8	63,0	67,0	75,0	71,4	68,6	71,3	67,1	66,8

**APÊNDICE L – Tempo de reverberação em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

TR (s)		FREQUÊNCIA (Hz)					
FONTES	PONTOS	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	1,89	2,14	3,55	4,61	4,32	2,92
	P02	2,19	2,39	3,62	4,66	4,38	3,10
	P03	2,20	2,48	3,77	4,50	4,18	2,99
	P04	1,73	2,50	3,66	4,63	4,30	2,97
	P05	2,13	2,19	3,59	4,12	3,55	2,38
	P06	2,21	2,30	3,81	4,64	4,15	2,96
	P07	1,81	2,08	3,76	4,63	4,30	2,93
	P08	1,79	2,42	3,81	4,51	4,05	2,90
	P09	1,98	2,23	3,69	4,20	3,69	2,70
	P10	1,88	2,13	3,71	4,77	4,27	3,07
	P11	1,96	2,39	3,56	4,47	3,89	2,79
	P12	1,72	2,13	3,71	4,45	4,06	2,86
	P13	1,74	2,14	3,60	4,45	3,91	2,84
	P14	1,60	1,93	3,29	4,59	4,04	2,76
	P15	1,96	2,15	3,53	4,35	4,16	2,87
F2	P01	1,94	2,27	3,61	4,44	4,00	2,85
	P02	1,84	2,42	3,80	4,61	4,07	2,86
	P03	1,97	2,42	3,89	4,63	4,29	2,92
	P04	2,03	2,26	3,74	4,34	3,90	2,67
	P05	1,85	2,61	3,77	4,73	4,29	2,99
	P06	2,05	2,23	3,62	4,38	3,89	2,63
	P07	1,90	2,29	3,98	4,54	4,01	2,85
	P08	1,92	2,03	3,94	4,31	3,76	2,53
	P09	2,33	2,27	3,74	4,76	4,26	2,83
	P10	1,95	2,20	3,86	4,49	4,07	2,83
	P11	1,86	2,32	3,86	4,60	4,03	2,91
	P12	1,88	2,27	3,86	4,24	3,79	2,62
	P13	1,99	2,58	3,99	4,74	4,28	2,93
	P14	2,04	2,36	3,82	4,24	3,58	2,57
	P15	1,94	2,36	3,79	4,53	3,82	2,74
F3	P01	1,57	2,31	3,6	4,49	4,15	2,95
	P02	1,65	1,77	3,67	4,40	4,15	2,75
	P03	1,85	2,11	3,64	4,38	3,89	2,73
	P04	1,83	2,08	3,87	4,52	4,12	2,95
	P05	1,98	2,28	3,68	4,69	4,22	3,02
	P06	1,89	2,33	3,86	4,52	4,00	2,85
	P07	1,95	2,35	3,91	4,76	4,14	2,94
	P08	1,58	2,20	3,79	4,59	4,14	2,90
	P09	1,56	2,30	3,88	4,71	4,30	2,93
	P10	2,14	2,36	3,79	4,54	4,16	3,03
	P11	1,85	2,27	3,81	4,67	4,14	2,88
	P12	1,90	2,24	3,76	4,69	4,26	2,91
	P13	2,16	2,38	3,75	4,63	4,33	3,06
	P14	1,84	2,29	3,37	3,98	3,58	2,48
	P15	2,02	2,32	3,57	4,04	3,69	2,70

**APÊNDICE M – Tempo de Decaimento Inicial em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

EDT (s)		FREQUÊNCIA (Hz)					
FONTE	PONTOS	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	1,71	1,72	3,55	4,79	4,17	2,16
	P02	2,09	2,07	3,79	4,77	4,32	2,56
	P03	1,47	1,99	3,85	4,67	4,01	2,69
	P04	1,83	2,43	4,12	4,76	4,18	2,48
	P05	1,41	2,11	3,65	3,99	3,51	2,05
	P06	1,19	1,95	4,02	4,53	4,01	2,43
	P07	1,31	2,05	3,58	4,56	4,08	2,43
	P08	1,66	1,67	3,28	4,67	3,88	2,41
	P09	1,37	1,80	3,19	4,41	3,71	2,37
	P10	0,97	1,67	3,89	4,33	4,01	2,63
	P11	1,50	2,21	3,59	4,38	3,93	2,48
	P12	1,44	1,92	3,41	4,38	3,77	2,40
	P13	1,62	1,95	3,34	4,07	3,78	2,48
	P14	1,56	1,93	2,81	4,06	3,80	2,24
	P15	1,69	1,82	2,89	3,81	3,70	2,29
F2	P01	1,81	2,11	3,39	4,71	3,81	2,50
	P02	1,67	2,28	3,66	4,51	3,84	2,33
	P03	1,87	2,73	4,01	5,14	4,21	2,66
	P04	1,87	2,17	3,77	4,60	3,80	2,25
	P05	1,85	2,13	3,82	4,62	4,16	2,69
	P06	2,44	2,56	3,38	4,57	3,77	2,21
	P07	2,26	2,3	3,72	4,78	3,94	2,57
	P08	1,81	1,84	3,34	4,33	3,55	2,13
	P09	1,68	2,26	3,56	4,08	3,80	2,36
	P10	2,04	2,17	4,02	4,69	3,98	2,47
	P11	2,00	2,05	3,62	4,68	4,02	2,45
	P12	2,13	2,54	3,67	4,31	3,47	2,17
	P13	1,65	1,93	3,94	4,74	4,15	2,58
	P14	1,77	2,11	3,48	4,24	3,63	2,30
	P15	1,54	2,37	3,72	4,72	3,59	2,22
F3	P01	1,95	1,84	2,91	4,20	3,85	2,22
	P02	1,60	2,00	3,18	4,01	3,68	2,41
	P03	1,48	1,90	3,00	4,43	3,96	2,44
	P04	1,82	2,18	3,22	4,12	4,09	2,38
	P05	1,79	2,21	3,54	4,35	4,12	2,58
	P06	1,46	1,88	3,79	4,81	4,07	2,64
	P07	1,87	2,31	3,69	4,68	4,18	2,57
	P08	1,45	1,98	3,63	4,54	3,77	2,39
	P09	1,77	2,25	3,73	4,75	3,91	2,55
	P10	1,79	2,18	3,63	4,77	4,38	2,51
	P11	1,62	1,85	2,89	4,32	4,01	2,12
	P12	1,75	2,16	3,50	4,54	4,10	2,31
	P13	1,45	2,23	3,51	4,86	4,25	2,57
	P14	2,02	1,95	3,50	3,63	3,29	2,11
	P15	1,43	2,38	3,46	4,58	3,90	2,40

**APÊNDICE N – Definição em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

D50 (-)		FREQUÊNCIA (Hz)						
FONTES	PONTOS	63	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	0,51	0,66	0,58	0,62	0,59	0,55	0,73
	P02	0,29	0,60	0,48	0,28	0,35	0,39	0,52
	P03	0,19	0,55	0,44	0,21	0,25	0,19	0,33
	P04	0,38	0,65	0,44	0,45	0,30	0,40	0,61
	P05	0,40	0,58	0,50	0,59	0,46	0,43	0,60
	P06	0,18	0,43	0,42	0,20	0,20	0,29	0,41
	P07	0,26	0,58	0,54	0,32	0,27	0,34	0,54
	P08	0,15	0,50	0,42	0,26	0,16	0,15	0,28
	P09	0,18	0,52	0,46	0,19	0,21	0,23	0,32
	P10	0,16	0,49	0,51	0,21	0,24	0,26	0,35
	P11	0,13	0,36	0,36	0,16	0,14	0,15	0,22
	P12	0,10	0,41	0,31	0,18	0,14	0,19	0,28
	P13	0,20	0,42	0,45	0,13	0,13	0,14	0,29
	P14	0,07	0,52	0,34	0,20	0,15	0,17	0,26
	P15	0,15	0,36	0,29	0,17	0,17	0,24	0,36
F2	P01	0,37	0,51	0,40	0,23	0,32	0,20	0,29
	P02	0,29	0,57	0,50	0,26	0,31	0,33	0,51
	P03	0,39	0,51	0,33	0,52	0,34	0,41	0,59
	P04	0,43	0,45	0,54	0,56	0,48	0,50	0,62
	P05	0,27	0,55	0,30	0,32	0,31	0,27	0,41
	P06	0,36	0,42	0,66	0,56	0,53	0,42	0,65
	P07	0,22	0,53	0,19	0,41	0,28	0,20	0,30
	P08	0,35	0,47	0,21	0,46	0,47	0,57	0,75
	P09	0,46	0,39	0,63	0,56	0,47	0,32	0,52
	P10	0,31	0,49	0,25	0,32	0,26	0,21	0,34
	P11	0,31	0,53	0,29	0,31	0,29	0,22	0,27
	P12	0,35	0,46	0,32	0,39	0,27	0,29	0,47
	P13	0,18	0,49	0,35	0,19	0,23	0,21	0,44
	P14	0,16	0,52	0,53	0,17	0,27	0,25	0,36
	P15	0,29	0,47	0,46	0,18	0,26	0,25	0,36
F3	P01	0,11	0,42	0,34	0,16	0,11	0,19	0,3
	P02	0,13	0,37	0,35	0,24	0,16	0,22	0,31
	P03	0,12	0,44	0,37	0,19	0,16	0,21	0,24
	P04	0,08	0,56	0,36	0,20	0,12	0,16	0,22
	P05	0,17	0,40	0,28	0,15	0,10	0,14	0,22
	P06	0,20	0,45	0,49	0,21	0,23	0,20	0,33
	P07	0,14	0,42	0,42	0,17	0,17	0,22	0,32
	P08	0,33	0,62	0,41	0,35	0,30	0,39	0,51
	P09	0,21	0,61	0,39	0,21	0,24	0,24	0,42
	P10	0,08	0,45	0,37	0,17	0,22	0,21	0,27
	P11	0,36	0,53	0,59	0,60	0,52	0,41	0,53
	P12	0,29	0,62	0,29	0,38	0,28	0,32	0,51
	P13	0,27	0,49	0,42	0,19	0,26	0,3	0,43
	P14	0,42	0,61	0,38	0,57	0,54	0,53	0,65
	P15	0,25	0,55	0,41	0,27	0,45	0,40	0,50

**APÊNDICE O – Clareza em função da frequência para as diferentes posições de fonte e microfones usados no Ginásio do Tênis Clube de Campinas.**

C80 (dB)		FREQUÊNCIA (Hz)					
FONTES	PONTOS	125	250	500	1000	2000	4000
F1	P01	4,70	4,38	2,86	2,14	2,55	5,91
	P02	3,49	0,56	-2,53	-1,64	-0,87	2,29
	P03	4,52	0,71	-5,05	-3,21	-2,81	-0,42
	P04	3,69	0,58	-0,15	-2,84	-0,47	3,43
	P05	3,06	0,91	2,35	0,50	0,50	3,74
	P06	0,86	0,03	-4,95	-4,63	-2,52	0,62
	P07	2,26	1,50	-2,46	-3,27	-1,64	1,61
	P08	1,11	0,24	-3,65	-5,96	-6,10	-2,44
	P09	2,36	0,34	-4,39	-4,80	-3,50	-1,67
	P10	0,50	0,82	-4,77	-3,50	-3,21	-1,76
	P11	-1,78	-0,66	-5,66	-5,65	-4,97	-2,57
	P12	0,81	-2,09	-4,64	-6,24	-4,45	-1,80
	P13	0,34	0,47	-5,10	-5,78	-4,76	-1,45
	P14	2,13	-0,48	-3,33	-5,89	-4,32	-1,04
	P15	-0,54	-0,37	-3,67	-4,80	-3,23	-0,18
F2	P01	4,12	0,83	-3,34	-2,20	-2,39	-0,72
	P02	5,14	1,42	-3,91	-2,68	-1,91	1,71
	P03	2,57	-0,67	1,26	-1,8	0,37	3,82
	P04	1,65	3,11	2,38	0,64	1,55	3,79
	P05	4,17	-1,12	-2,38	-2,57	-2,03	0,62
	P06	1,17	3,93	2,51	1,11	0,46	4,71
	P07	0,94	-3,64	-0,7	-3,16	-4,46	-1,33
	P08	0,63	-2,58	0,44	0,13	2,85	6,45
	P09	0,68	3,23	1,82	0,39	-0,26	1,99
	P10	0,56	-3,01	-2,38	-3,35	-3,13	-0,53
	P11	2,11	-1,08	-1,55	-2,55	-2,76	-1,29
	P12	2,84	-0,74	-1,04	-3,00	-1,22	1,70
	P13	2,81	-0,27	-3,53	-3,42	-2,41	1,25
	P14	3,68	1,84	-4,46	-3,54	-1,98	-0,22
	P15	2,67	0,38	-5,51	-3,50	-3,34	-0,53
F3	P01	-1,09	-0,47	-4,83	-6,38	-3,74	-1,00
	P02	-0,96	0,10	-2,74	-5,23	-4,08	-1,24
	P03	1,78	-1,52	-4,87	-5,79	-4,13	-3,05
	P04	2,80	-1,68	-4,3	-6,33	-4,94	-2,88
	P05	-1,13	-3,09	-6,2	-7,61	-6,22	-3,13
	P06	-0,45	0,53	-4,13	-3,84	-4,43	-1,48
	P07	1,00	-0,07	-4,78	-5,56	-3,89	-1,06
	P08	2,43	-0,84	-1,89	-2,51	-0,47	1,69
	P09	3,43	-0,66	-4,32	-3,91	-2,00	1,18
	P10	1,78	-0,22	-5,53	-4,43	-2,74	-1,55
	P11	2,48	2,9	2,85	1,07	0,32	3,05
	P12	3,06	-1,24	-0,11	-2,68	-1,00	2,51
	P13	3,65	0,89	-4,32	-3,29	-1,92	1,07
	P14	3,03	1,85	2,26	1,54	2,09	4,75
	P15	4,24	1,63	-2,93	0,22	0,36	1,85

**APÊNDICE P – Nível de pressão sonora em função de freqüência medidos em bandas de 1/1 oitava obtidos no exterior do Ginásio do Clube Campineiro de Regatas.**

NPS dB(A)	FREQUÊNCIA (Hz)							
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b>P01</b>	64,4	62,6	53,2	54,0	56,8	51,4	45,5	29,0
<b>P02</b>	68,9	64,2	57,0	52,1	55,6	53,0	51,3	33,8
<b>P03</b>	66,2	64,5	54,4	53,2	54,1	52,1	49,3	34,9
<b>P04</b>	68,7	64,7	58,2	51,4	51,0	49,5	45,3	38,5
<b>P05</b>	65,3	63,7	59,5	53,7	51,7	48,2	47,3	37,9
<b>P06</b>	64,7	60,2	53,1	52,0	54,7	52,7	47,6	29,6
<b>P07</b>	68,0	62,7	54,8	50,4	51,1	49,4	43,5	32,4
<b>P08</b>	65,4	63,8	54,1	48,0	48,4	49,7	40,9	28,1
<b>P09</b>	64,0	57,1	49,4	45,1	44,8	42,4	37,2	26,5