



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MAYARA ARAÚJO MODESTO

INTELIGIBILIDADE DA FALA EM SALAS DE AULA

RECIFE

2017

MAYARA ARAÚJO MODESTO

INTELIGIBILIDADE DA FALA EM SALAS DE AULA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de Concentração: Engenharia Estrutural com ênfase em Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

M691i Modesto, Mayara Araújo.

Inteligibilidade da fala em salas de aula / Mayara Araújo Modesto. - 2017.

90 folhas, il., tabs., quadro.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Salas de aula. 3. Inteligibilidade da fala. 4. Parâmetros acústicos. I. Oliveira, Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-79



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

INTELIGIBILIDADE DA FALA EM SALAS DE AULA

Defendida por

Mayara Araújo Modesto

Considera a candidata APROVADA

Recife, 17 de fevereiro de 2017

Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira – Orientador – UFPE
Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva – Coorientador – UFPE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira - UFPE
(examinador co-orientador)

Prof. ^a Dr.^a Paula Maria Maciel do Rêgo Silva - UNICAP
(examinadora externa)

Prof. Dr. Antônio Acácio de Melo Neto - UFPE
(examinador interno)

RESUMO

Os estudos da qualidade acústica de salas de aula têm despertado interesse acadêmico nos últimos anos devido sua grande influência na relação ensino-aprendizagem. Atualmente, os projetos desenvolvidos devem prever em sua concepção as diretrizes executivas para que seja alcançada uma qualidade acústica satisfatória. Dentre os parâmetros que compõem a qualidade acústica das salas de aula está a inteligibilidade da fala. Trata-se da qualidade de entendimento do som das palavras recebido depois de emitido e percorrido o caminho até chegar ao receptor. Neste trabalho foram avaliadas salas de aula construídas em décadas diferentes de dois centros de ensino totalizando 34 salas. As salas foram analisadas em seis condições de operação. Para a medição acústica foi utilizado o método de resposta impulsiva da sala de aula e os parâmetros acústicos foram obtidos através do software de avaliação acústica de salas, o DIRAC® 6.0. Com isso, foram obtidos os seguintes: Tempo de Reverberação (TR), o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), a Definição (D50), o Índice de Transmissão da Fala (STI) e a Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALcons), em função da frequência de onda na faixa de bandas de 1/1 de oitava. Também foi medido e analisado o Nível de Pressão Sonora ou Ruído de Fundo Ambiental Equivalente (LAeq) interno à sala, obtido com um analisador de pressão sonora.

Palavras-chave: Salas de aula. Inteligibilidade da fala. Parâmetros acústicos.

ABSTRACT

Studies of the acoustic quality of classrooms have aroused academic interest in recent years due to their great influence on the teaching-learning relationship. At present, the projects developed must provide for the design of the executive guidelines to achieve a satisfactory acoustic quality. Among the parameters that make up the acoustic quality of classrooms is speech intelligibility. It is the quality of understanding the sound of words received after being issued and traveled the way to reach the receiver. In this work, classrooms constructed in different decades of two teaching centers totaling 34 rooms were evaluated. The rooms were analyzed under six operating conditions. For the acoustic measurement, the impulse response method of the classroom was used and the acoustic parameters were obtained through the room acoustic evaluation software, DIRAC® 6.0. Thus, the following acoustic parameters were obtained: Reverberation Time (TR), Initial Decay Time (EDT), Definition (D50), Speech Transmission Index (STI), and Percentage Loss in Consonant Articulation (% ALcons), as a function of the wave frequency in the 1/1 octave band range. It was also measured and analyzed the Sound Pressure Level or Equivalent Environmental Fund Noise (LAeq) in the room, obtained with a sound pressure analyzer.

Keywords: Classrooms. Speech intelligibility. Acoustic parameters.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	APRESENTAÇÃO	8
1.2	OBJETIVOS.....	8
1.2.1	Objetivos gerais	8
1.2.2	Objetivos específicos	9
1.3	JUSTIFICATIVAS.....	9
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	CONCEITOS ACÚSTICOS.....	12
2.1.1	Definição de som	12
2.1.2	Propagação do som em uma sala	15
2.1.3	Inteligibilidade da fala	18
2.1.3.1	Relação sinal-ruído (SNR).....	18
2.1.3.2	Tempo de reberveração	20
2.1.3.3	Tempo de decaimento inicial (EDT).....	24
2.1.3.4	Definição 50 (D50).....	25
2.1.3.5	Ruído de fundo ou nível de pressão sonora equivalente (LAeq).....	26
2.1.3.6	Perda de porcetagem na articulação das consoantes (%ALcons).....	29
2.1.3.7	Índice de transmissão da fala (STI)	30
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
4	METODOLOGIA	39
4.1	CTG.....	39
4.2	NIATE-CCEN/CTG	47
4.3	CONDIÇÕES DE ENSAIO	53
5	RESULTADOS	59
5.1	NIATE CCEN/CTG	59
5.1.1	Tempo de reverberação/tempo de decaimento inicial	61
5.1.2	Relação sinal ruído/ruído de fundo	64

5.1.3	Definição 50.....	66
5.1.4	Índice de transmissibilidade da fala/perda de % na articulação das consoantes	67
5.2	CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA-CTG.....	68
5.2.1	Tempo de reverberação/tempo de decaimento inicial.....	75
5.2.2	Relação sinal ruído/ruído de fundo	78
5.2.3	Definição 50.....	80
5.2.4	Índice de transmissibilidade da fala/perda de % na articulação das consoantes	83
	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

No presente trabalho, serão medidos e analisados parâmetros acústicos que servirão de base para caracterizar a inteligibilidade da fala em salas de aula. As salas estudadas estão localizadas no Centro de Tecnologia e Geociência (CTG) e Núcleo Integrado de Atividades de Ensino-Centro de Ciências Exatas e da natureza (Niate-CCEN) totalizando 34 salas.

Com o aumento da acessibilidade nas universidades, o ingresso de alunos com as mais diferentes necessidades, dentre elas, as auditivas, assim como a presença de professores estrangeiros, aulas de línguas estrangeiras e alunos que vêm de outros países através de programas de intercâmbio, a inteligibilidade da fala tem sido tema frequente nas pesquisas de acústica.

Com isso, a indústria tem desenvolvido materiais com características específicas para melhorar a qualidade acústica nos mais variados ambientes como hotéis, restaurantes, aeroportos, escritórios, salas de aulas, etc.

O estudo dá uma partida para que mais atenção seja dada ao tema nas salas de aula, pois, de acordo com os resultados obtidos nos estudos, até mesmo as construções mais recentes da UFPE ainda não atendem aos limites normatizados, demonstrando que ainda há muito o que avançar nos projetos para atender ao mínimo exigido nas normas brasileiras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivos apresentar o comportamento dos parâmetros acústicos relativos à inteligibilidade da fala em salas de aulas da Universidade Federal de Pernambuco

(UFPE) e avaliar quais mudanças foram feitas de um projeto para outro e como isso alterou a qualidade da fala dentro das salas de aula.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar um diagnóstico das condições acústicas das salas de aula a partir dos parâmetros acústicos avaliados.

Avaliar a evolução da qualidade acústica das salas de aula de dois centros de ensino o CTG e o NIATE-CCEN da Universidade Federal de Pernambuco, construídos em diferentes décadas.

Definir medidas econômicas a serem adotadas nas salas já construídas.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Segundo ROSSING (2014), a acústica pode, hoje, ser abordada em várias disciplinas como física, engenharia, psicologia, discurso, música, audiologia, arquitetura dentre outros. Além disso, foi dividida em vários ramos como é o caso da acústica musical, choque, vibração, controle de ruídos, discurso, etc.

É indiscutível que todos os povos se comunicam e um dos tipos de comunicação é feito por meio da fala. Para que haja a comunicação falada, é necessário que haja pelo menos um emissor, que emitirá o som, um receptor, que receberá o som, e um meio na qual esse som poderá se propagar.

Conforme LUDMAN e LOUIS (2001), a educação é de essencial importância para as sociedades modernas. O aprendizado se dá de uma forma que envolve a comunicação intensa entre alunos e professores e entre alunos. Essa educação formal, sendo realizada dentro de salas de aula, é fortemente influenciada pela qualidade acústica dessas salas.

Os principais métodos de educação são a fala e a audição e, por uma educação de alta qualidade ser essencial para qualquer universidade, os diferentes fatores que influenciam na fala e audição podem reduzir a eficiência da aprendizagem do aluno, principalmente dos que têm problemas de audição e ou estão estudando outra língua (GEORGE & YOUSSEF, 2012).

A própria atividade dos alunos e professores em uma sala de aula traz ruídos (ENIZ e GARAVELLI, 2006) e, caso essa sala não tenha propriedades que possam tratar e reduzir esses ruídos, poderá haver uma perda na qualidade acústica dessa sala.

A determinação da qualidade acústica pode se dar de forma direta ou indireta. A forma indireta está relacionada com a psico-acústica. Já a forma direta, pode ser feita com medidores ou dispositivos eletrônicos. Quando se fala em forma indireta, abordam-se conceitos subjetivos como timbre, altura, intensidade. Por sua vez, a forma direta traz outra gama de conceitos, mas agora conceitos objetivos como é o caso frequência, espectro, nível, etc. (ZHANG, 2008).

Com o aumento da acessibilidade nas universidades, o ingresso de alunos com as mais diferentes necessidades, dentre elas, as auditivas, assim como a presença de professores estrangeiros, aulas de línguas estrangeiras e alunos que vêm de outros países através de programas de intercâmbio, a inteligibilidade da fala tem sido tema frequente nas pesquisas de acústica.

O trabalho abordará uma avaliação direta da qualidade acústica de salas de aula, ou seja, abordará conceitos objetivos que possam quantificar o quão inteligível é a fala dentro da sala de aula. Serão estudadas salas de dois centros de ensino da UFPE, o CTG e o Niate- CCEN.

Os principais parâmetros analisados serão Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Nível de Pressão Sonora (NPS), Articulação de Consoantes (%ALCons), Porcentagem de Perda na Índice de Transmissão da Fala (STI), Definição (D50), os quais, segundo Gomes e Bertoli (2005) estão entre os parâmetros mais importantes para avaliação acústica de salas de aula.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo trata do qual contexto em que o trabalho foi inserido, e traz características gerais do que será estudado com justificativas para o tema.

No segundo capítulo, há fundamentação teórica, que dá suporte ao desenvolvimento da dissertação, destacando os conceitos e os parâmetros acústicos analisados, com seus limites normatizados, e, posteriormente, os direcionando para o discurso e para salas de aula.

O terceiro capítulo apresenta a revisão bibliográfica, trazendo quais os principais parâmetros estudados em acústicas para caracterizar a qualidade acústica de salas de aula.

O quarto capítulo trás os ensaios realizados e a análise desses dados. Apresenta uma descrição dos procedimentos experimentais e equipamentos que foram usados para a caracterização acústica das salas ensaiadas assim como a caracterização detalhada das salas estudadas e dos centros de ensino em que as salas estão localizadas.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos divididos por centro de ensino e tipos de sala.

O sexto capítulo apresenta as conclusões e recomendações para as salas estudadas assim como proposições de estudos futuros dentro do tema deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS ACÚSTICOS

Esse tópico refere-se à apresentação de conceitos fundamentais de acústica que serão necessários para compreensão dos estudos realizados nas salas de aula, análise e interpretação dos resultados obtidos nos ensaios.

2.1.1 Definição de som

O som é produzido por vibrações causadas por ondas. Segundo BROWN (2008), quando um meio como o ar, a água, aço, terra, etc. é perturbado, uma onda é produzida. Ainda, em acústica, o som que ouvimos é a restauração de uma situação de equilíbrio que foi desestabilizada após uma perturbação atmosférica.

Segundo AMORIM (2007), “qualquer fenômeno que cause ondas de pressão no ar é considerado uma fonte sonora. Ao sofrer um estímulo (vibração) as partículas do ar são submetidas a sucessivas compressões e rarefações, provocando vibrações nas demais partículas resultando na propagação sonora”.

Usando o segundo (s) como unidade de tempo, o número de oscilações acima e abaixo da condição ambiente nesse intervalo é a frequência da onda. Os seres humanos podem ouvir frequências que variam de 20Hz a 20KHz. Com isso, o som que o ouvido humano escuta é uma diferença de pressão entre pressão atmosférica ambiente e uma variação de pressão causada por uma perturbação de frequência entre 20Hz e 20KHz. (BROWN, 2008).

Quando a frequência de uma onda é conhecida, pode-se encontrar o tempo que a onda gasta para completar um ciclo. Esse período pode ser encontrado pela seguinte relação abaixo:

$$T = \frac{1}{f} (s)$$

Onde:

T = Período, dado em segundos (s);

f = Frequência, dada em segundos⁻¹(s⁻¹);

As ondas se propagam com uma velocidade que depende da natureza do meio em que ela se propaga. Com isso, pela equação abaixo, o comprimento de onda (λ) pode ser determinado quando se conhece a velocidade de propagação de uma onda.

$$\lambda = Tc$$

$$\lambda = \frac{c}{f} (m)$$

Onde:

c = velocidade da onda, dada em metros/segundo (m/s);

λ = comprimento de onda, dado em (m);

As frequências de ondas sonoras são divididas em seções chamadas de bandas de frequência e cada banda é identificada pela frequência central. Em acústica, as bandas de frequência utilizadas são 1/1 de oitava e 1/3 de oitava e seus valores são apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Bandas de frequências e indicação de níveis.

FREQUÊNCIA (Hz)		
BANDAS DE OITAVA		
1/1 OITAVA	1/3 OITAVA	
63	50	BAIXAS FREQUÊNCIAS
	63	
	80	
125	100	
	125	
	160	
250	200	
	250	
	315	
500	400	MÉDIAS FREQUÊNCIAS
	500	
	630	
1000	800	
	1000	
	1250	
2000	1600	ALTAS FREQUÊNCIAS
	2000	
	2500	
4000	3150	
	4000	
	5000	
8000	6300	
	8000	
	10000	

Fonte: A autora.

É necessário ponderar as frequências de forma diferente para medição de níveis de pressão diferentes, pois o ouvido humano não possui a mesma sensibilidade em relação às frequências em diferentes níveis de pressão (AMORIM, 2008), sendo que a sensibilidade diminui para frequências muito altas e muito baixas. Há, atualmente, diferentes ponderações, cada uma utilizada em um determinado nível de atividade. Essas ponderações são representadas por letras (A, B,). Segundo ZHANG (2008), o nível de ponderação A é semelhante à audição humana a 40 dB, e é usado em níveis baixos; o nível B-ponderação representa a audição humana em cerca de 70 dB; e o nível C-ponderação representa a audição humana a 100 dB, e, portanto, é usado em níveis elevados. A Figura 1 apresenta as faixas de frequência ponderadas mais utilizadas.

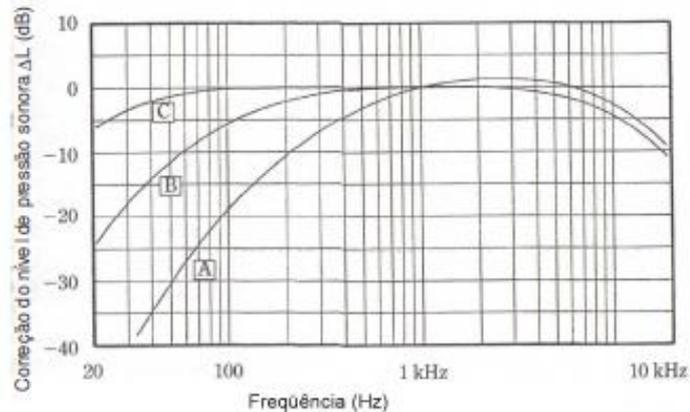


Figura 1- Escalas de ponderação de nível de pressão sonora "A", "B" e "C".

Fonte: Adaptado de EVEREST (2001, p. 39).

2.1.2 Propagação do som em uma sala

Quando uma onda sonora é emitida por uma fonte no interior de uma sala, essa onda irá se propagar até atingir um obstáculo, por exemplo, uma parede ou o próprio ouvinte. O som emitido pode atingir o receptor diretamente ou indiretamente, ou seja, um som que chega ao ouvinte de forma secundária, após se chocar com uma superfície como paredes, teto, piso, etc. Esses dois sons (direto e indireto) podem não atingir o ouvinte simultaneamente (AMORIM, 2008). Em suma, uma das formas de tratamento acústico de um ambiente se dá através do gerenciamento dessas formas de propagação do som, sejam elas diretas ou indiretas.

Uma onda acústica se propaga através de um meio de vibração. No caso de salas de aula, a propagação se dá através do ar. A onda, após ser emitida, chega até o receptor de forma direta e refletida. A reflexão ocorre quando a onda encontra uma mudança de impedância acústica, como ocorre com uma superfície rígida (BROWN, 2008). Em uma sala de aula, isso se dá quando a onda atinge paredes, mobiliário, piso, forro, etc.

Com isso, o tipo de revestimento das salas de aula, o mobiliário, o tamanho, dentro outros fatores, interferem diretamente na propagação de uma onda acústica, ou seja, na qualidade da fala e, por fim, na qualidade do aprendizado.

Quando o som encontra uma superfície de uma sala, ocorre uma complexa interação superfície-som. Dessa interação podem-se ter basicamente três consequências: absorção,

reflexão e difusão (BROWN, 2008). A figura 2 mostra de forma simples essas três interações superfície-som.

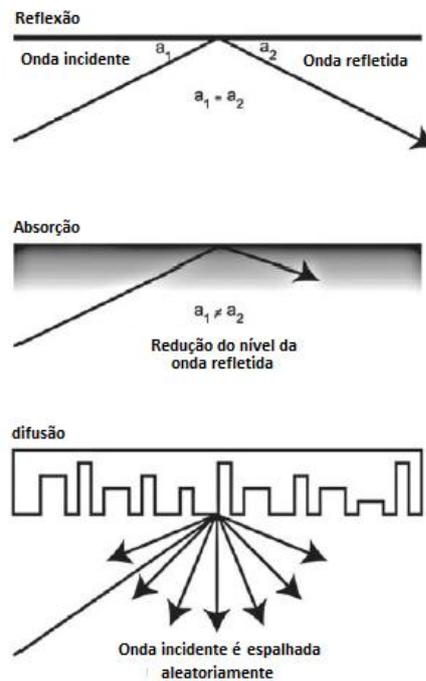


Figura 2- Interação de ondas com superfícies.

Fonte: Adaptado de Brown (2008, p. 30).

Uma das formas de direcionamento do som é a reflexão. Uma onda refletida será forte, se a superfície é grande e tem baixa absorção. Com o aumento do grau de absorção há uma consequente diminuição do grau de reflexão. A onda refletida fica se propagando dentro do quarto até que seja totalmente absorvida. É devido às reflexões que ocorrem em um quarto que o nível sonoro dentro do quarto é maior que o correspondente em um campo livre.

Segundo SZYMANSKI (2008) a absorção é a transformação de energia acústica em alguma outra forma de energia, geralmente o calor. A absorção será usada conforme os resultados desejados. Em geral, são usados materiais absorventes quando se pretende diminuir a reverberação de um ambiente. A unidade de absorção acústica é o Sabin, em homenagem a W. C. Sabine (1868-1919), considerado o pai da acústica arquitetônica moderna, postulou que comparando o desempenho de uma determinada área de material para a mesma área da janela aberta iria produzir o seu poder absorvente em relação ao ideal. Teoricamente, 1,0 Sabin equivale a um metro quadrado (m²) de absorção completa.

Em comparação com a absorção acústica, a ciência da difusão acústica é relativamente nova. No sentido mais básico, a difusão pode ser pensada como uma forma especial de reflexão. Materiais que possuem as irregularidades da superfície sobre a ordem dos comprimentos de onda das ondas sonoras que incidem irão exibir propriedades de difusão. Idealmente, um difusor irá redirecionar a energia acústica incidente igualmente em todas as direções e em uma ampla gama de frequências. (SZYMANSKI, 2008).

O tipo de material que compõe uma determinada superfície poderá definir, para uma determinada frequência, se ocorrerá mais ou menos reflexão, absorção, difusão, etc. Além disso, esse redirecionamento da onda sonora poderá acontecer de diferentes formas. Isso dependerá da forma geométrica dessas superfícies. A figura 3 mostra diferentes formas de redirecionamento do som.

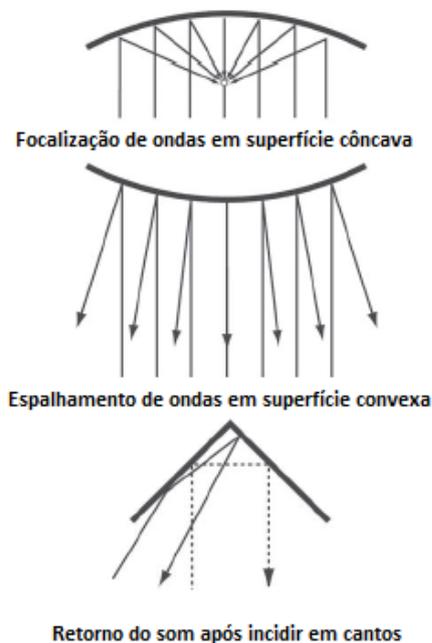


Figura 3- Tipos de reflexões em diferentes superfícies.

Fonte: Adaptado de Brown (2008, p. 31).

Segundo BROWN (2008) a geometria de uma superfície pode ter um profundo efeito sobre o comportamento do som que a atinge. De uma perspectiva de reforço de som, geralmente é melhor espalhar o som do que concentrar, nesse caso, como se observa na figura 3, uma superfície de ambiente côncava deve ser evitada. Já uma superfície convexa é mais desejável,

uma vez que dispersa as ondas sonoras cujos comprimentos de onda são pequenos em relação ao raio de curvatura. Cantos do quarto podem fornecer controle de direção útil em baixas frequências, mas em altas frequências podem produzir reflexões problemáticas.

2.1.3 Inteligibilidade da fala

Segundo MAPP (2008) o propósito fundamental de determinados ambientes é entregar fala inteligível para o ouvinte. Todavia, atingir um nível de inteligibilidade satisfatório da linguagem se torna difícil de alcançar devido à quantidade de fatores que influenciam na propagação e recepção do som.

Segundo TORO (2005) a inteligibilidade pode ser aplicada à linguagem do dia a dia, à música, a anúncios, e a outros sons. Com isso, cada tipo de uso da linguagem definirá uma quantidade de inteligibilidade necessária, tornando, assim, a definição de inteligibilidade da fala em algo bastante genérico. Basicamente, pode-se definir inteligibilidade da fala como a razão pela qual se entendem os sons.

O cálculo de quão inteligível é a fala em um ambiente pode se dar de forma subjetiva ou de forma objetiva. Quando se fala de avaliação subjetiva, o ramo da psicoacústica estuda as diretrizes para definir o que é ou não confortável para um ouvinte. Ensaio subjetivos são baseados em entrevistas aos usuários do ambiente que se pretende avaliar a qualidade acústica. Cada pessoa possui o seu limite do que é ou não agradável, em se tratando de som, para aquele determinado local, ou seja, uma gama de conceitos e fatores será somada ao estudo para cada ouvinte que participe da pesquisa. O escopo do trabalho será a avaliação objetiva. Essa avaliação está baseada em diferentes parâmetros: Relação sinal-ruído (SNR), Tempo de Reverberação (TR), Nível de Pressão Sonora Ambiental ou Ruído de Fundo (NPS ou L_{eq}), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50), Índice de Transmissão da Fala (STI), Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALcons) discutidos a seguir.

2.1.3.1 Relação sinal-ruído (SNR)

Inicialmente, deve-se definir o que é sinal (S) e ruído (N) no ambiente em estudo. Em se tratando de salas de aula é fácil perceber que o sinal é o som emitido pelo professor e o ruído é o som resultante do meio externo e das próprias atividades dentro da sala de aula.

De acordo com BROOK e UZZLE (1987) apud BERG, BLAIR & BENSON (1996) com esforço vocal normal, a voz humana é normalmente inferior a 60 dB a uma distância de cerca de 90 cm, ou seja, o poder da voz humana é relativamente fraco. Segundo MAPP (2008) em situações como salas de aula, o nível de pressão sonora da voz humana pode variar de 70 a 75 dB o que pode, de certa forma, sobrecarregar a voz do professor. Com isso, uma das formas para conseguir que a transmissão de voz dentro da sala seja satisfatória é diminuindo ao máximo a quantidade de ruído atuante na sala de aula.

Quando se fala em relação sinal-ruído, trata-se da diferença entre sinal acústico da fonte sonora e o nível de pressão sonora do ambiente. Para o caso da sala de aula, tem-se que seria a diferença do nível de pressão sonora da voz do professor menos o nível de pressão sonora do ruído de fundo. Visto que a voz do professor (sinal) possui suas limitações, conclui-se que o ideal é reduzir o ruído de fundo para aumentar a relação sinal-ruído. Outra opção seria o professor elevar os níveis de voz o que não seria bom, pois o custo seria a fadiga vocal desse professor (SUTHERLAND e LUBMAN, 2001).

Conforme BENTLER (2000), o SNR é um dos parâmetros acústicos que mais interferem na inteligibilidade da fala em salas de aula. Um valor positivo maior oferecerá aos estudantes melhor conforto acústico.

De acordo com ZHANG (2008) se um determinado sinal só puder ser ouvido de forma inteligível em condições tranquilas e for jogado na presença de outro som, geralmente o sinal deverá ser mais forte para que o ouvinte possa ouvi-lo. Esse som ambiente consegue em menor ou maior intensidade mascarar o sinal, pois concorre com ele. Na figura 4, observa-se o efeito do mascaramento do sinal causado pelo ruído.

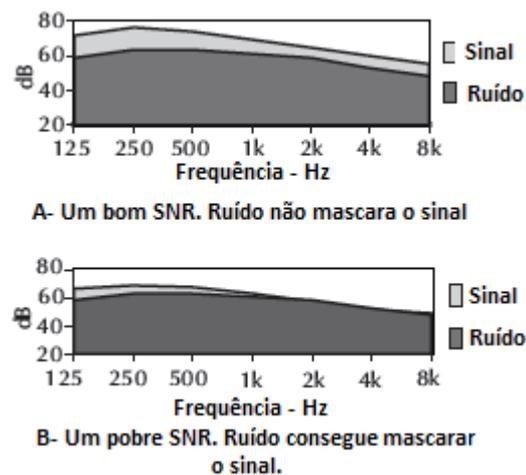


Figura 4 - Análise espectral de sinal-ruído.

Fonte: Adaptado de MAPP (2008, p. 1394).

Para a parte B da figura 4, pode-se observar que o sinal foi quase totalmente mascarado pelo ruído (som ambiente), enquanto na parte A, há maior diferença entre eles, fazendo com que o sinal se destaque mais em relação ao ruído.

2.1.3.2 Tempo de reberveração

Segundo CUNHA (2014) o tempo de reverberação (TR) é o parâmetro mais tradicional para caracterização acústica de um ambiente. O tempo de reverberação foi estudado pela primeira vez por W. C. Sabine no final do século XIX e desde então tem sido visto como o marco iniciador dos estudos da acústica arquitetônica como ciência (MARSHALL, 2010).

Por definição, o tempo de reverberação é o tempo necessário para que, depois de cessada a fonte sonora, o nível sonoro decaia 60 dB (PRATO, CASASSA, SCHIAVI, 2016).

Segundo MAPP (2008), assim como o ruído pode mascarar o sinal, a reverberação, se em valores excessivos para o ambiente, também pode. Cada onda, correspondente a uma determinada sílaba de uma palavra emitida dentro de um determinado ambiente, tem uma amplitude de propagação e um tempo de reverberação próprios. Esse tempo deve ser curto o suficiente para que a amplitude da onda decaia e, no caso do discurso, não mascare o som da próxima sílaba que será emitida, assim como longo o suficiente para integrar as sílabas formando palavras. Para exemplificar, a figura 5 abaixo apresenta a forma da onda da palavra “ba-ck”. A palavra começa com a sílaba “ba” e é seguido cerca de 300 ms depois pelo som

consonantal “ck”. Com o tempo que decorre entre a emissão de uma sílaba e outra e o tempo de reverberação do ambiente, pode-se calcular quanto terá decaído a amplitude da sílaba “ba” até o início de sílaba “ck”. Com alto tempo de reverberação, a sílaba “ba” poderá não decair o suficiente e ainda reverberará no ambiente quando a sílaba “ck” for pronunciada, podendo ser mascarada.

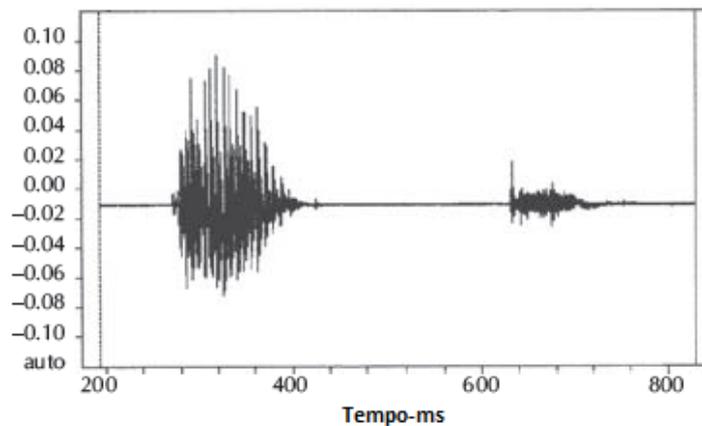


Figura 5- Forma básica da palavra "Back".

Fonte: Adaptado MAPP (2008, p. 1393).

Com isso, MAPP (2008), dividi o som em dois campos: o som direto e o som reverberante e este, em três componentes:

- 1- Reflexões que chegam ao ouvinte cerca de 35 a 50 ms após cessada a emissão do sinal.
- 2- Reflexões tardias, que chegam ao ouvinte aproximadamente de 50 a 100 ms após cessada a emissão do sinal.
- 3- Reverberação de alta densidade de reflexões que chegam depois de aproximadamente 100 ms.

De acordo com MAPP (2008), muitos acreditam que as reflexões que ocorrem cerca de 35ms a 50 ms após o som direto integram-se totalmente com ele, desde que elas tenham um espectro semelhante, o que é um fator positivo, pois gera um aumento da intensidade percebida. No entanto, há um consenso geral de que as reflexões que chegam depois dos primeiros 50 ms agem de forma a degradar inteligibilidade da fala. Já o som que chega após aproximadamente 100 ms, geralmente sinaliza o início do campo reverberante forte.

Os valores de tempo de reverberação ideais para um ambiente serão definidos conforme o uso e as frequências do som emitidas no ambiente. No caso particular de salas de aula, em que as ondas sonoras são referentes ao discurso, o tempo de reverberação deve ser menor do que para música, por exemplo, como se pode observar na figura 6, que apresenta recomendações da norma brasileira NBR 12179 (1992) para o tempo de reverberação em 500 Hz, em função do volume, para espaços de diferentes usos. Conforme a figura 7, ambientes que fazem uso do discurso possuem tolerância menor, tanto de início como de fim da curva, para tempo de reverberação, do que por exemplo ambientes que usam a música.

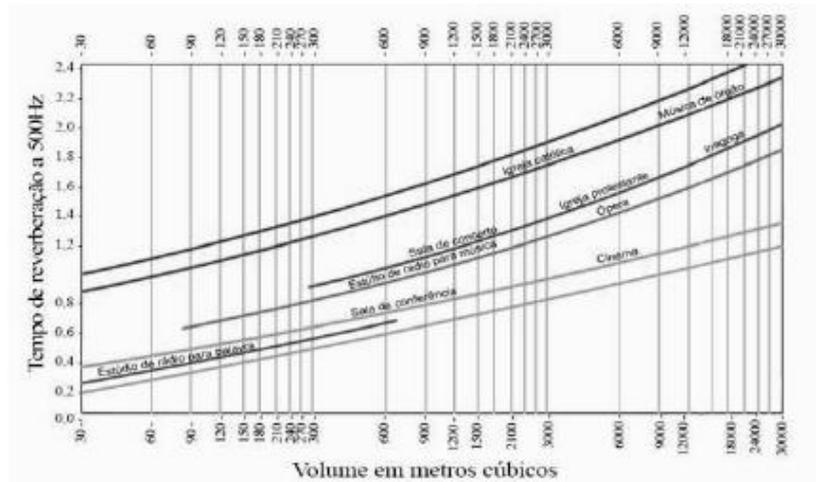


Figura 6- Curvas de tempos ótimos de reverberação para diferentes ambientes e volumes.

Fonte: NBR 12179, 1992, p9.

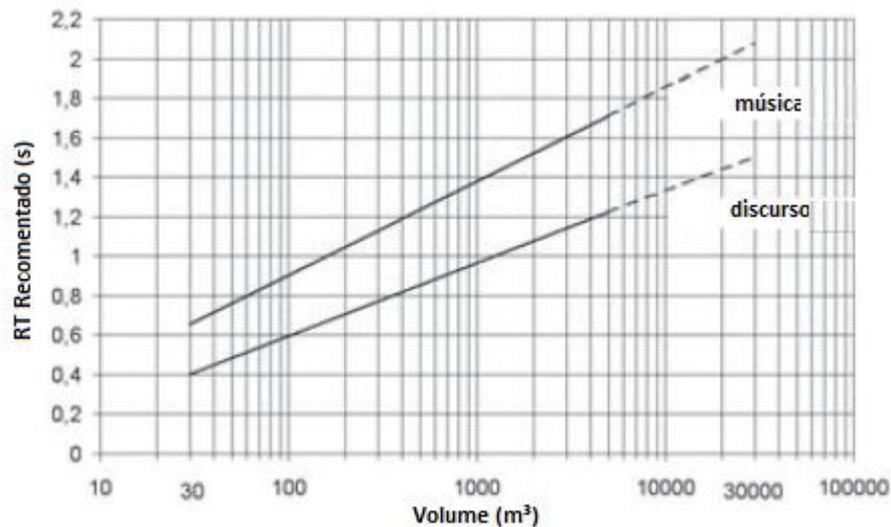


Figura 7-Comparação de curvas de Tempos de Reverberação recomendados para ambientes que têm como principal uso a música e o discurso por volume.

Fonte: AHNERT&TENNHART (2008), p.149.

Como se observa na figura 6, o Brasil não possui recomendações para TR em sala de aula, mas pode-se usar como referência as salas de conferência. Conforme figura 8, para sala de conferência de 200 a 300m³ de volume o tempo de reverberação está compreendido entre 0,5 e 0,7s.

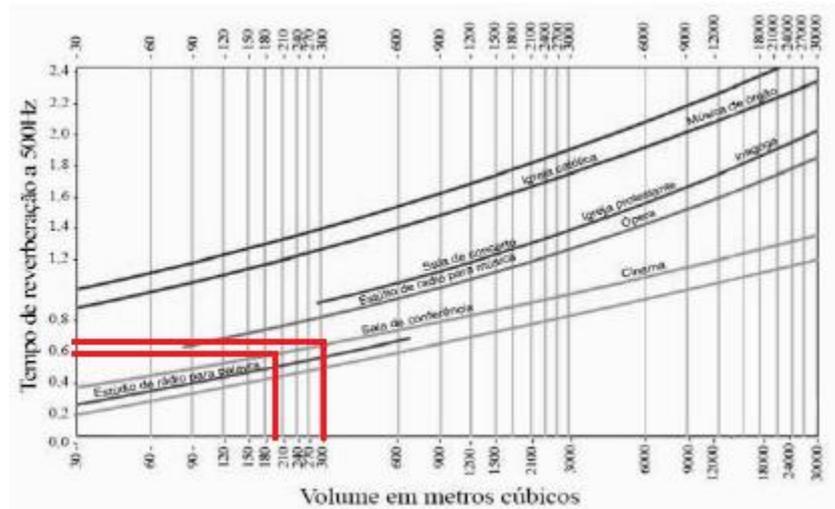


Figura 8-TR para sala de conferência de 200 a 300m³.

Fonte: adaptado NBR 12179 (1992) p9.

Assim como na norma brasileira, em geral, os valores de tempo de reverberação são apresentados em função do volume. A tabela 2 apresenta essa relação volume-TR com valores admissíveis de TR em salas de aula para outros países. Alguns autores, não avaliam salas de aula com os parâmetros adotados para salas de conferência e consideram que as normas brasileiras omissas em relação a TR admissível para salas de aula.

Tabela 2-TR para diferentes países em função de volumes de salas de aula.

País	Tempo de Reverberação (s)
Bélgica	$V=100\text{m}^3$, $0.9 < TR < 1.3$; $V=1000\text{m}^3$, $1.1 < TR$
Brasil ⁽¹⁾	Não existe recomendação
França	$V \leq 250\text{m}^3$, $0.4 < TR < 0.8$ (para 500-1000-2000Hz) $V > 250\text{m}^3$, $0.6 < TR < 1.2$ (para 500-1000-2000Hz)
Alemanha	$0.8 < TR < 1.0$ (para 500-1000-2000Hz)
Itália ⁽²⁾	$TR < 1.2$ (para 500 - 1000 - 2000Hz)
Japão	$0.5 < TR < 0.7$ (limite médio)
Nova Zelândia	$TR < 0.6$
Portugal	$125 \leq f \leq 250\text{Hz}$, $TR=1$; $500 \leq f \leq 4000\text{Hz}$, $0.6 \leq TR \leq 0.8$
Reino Unido	$72\text{m}^3 < V < 210\text{m}^3$, $0.4 < TR < 0.8$
Estados Unidos	$V < 283\text{m}^3$, $TR=0.6$; $283\text{m}^3 < V < 566\text{m}^3$, $TR = 0.7$ (para 500-1000-2000Hz)

Fonte: Adaptado KARABIBER; VALLET (2003 apud ZANIN; LORO, 2005, p. 4).

Notas 1 e 2: Norma sob revisão.

2.1.3.3 Tempo de decaimento inicial (EDT)

Segundo CUNHA (2004) quando se avalia os valores de tempo de reverberação, o que se tem é uma indicação de características do ambiente. Os dados do TR possuem pouca significância quando se trata da localização de um receptor dentro de uma sala de aula, por exemplo.

Durante um discurso, quando se emite uma nova sílaba, a reverberação tardia da antiga sílaba é mascarada pela emissão de uma nova sílaba. Isso faz com que o ouvinte perceba apenas uma porção inicial da reverberação, ou seja, a porção que não foi mascarada pela nova sílaba. Dessa forma, a localização do ouvinte em relação à fonte passa a ter forte influência no som direto e em suas primeiras reflexões o que difere dos valores medidos objetivamente para TR que, exceto flutuações admissíveis, a localização do ouvinte na sala pouco influenciará. Com isso, percebe-se que a porção inicial do decaimento está, na maioria dos casos estudados, diretamente relacionada com a avaliação subjetiva da reverberação, especialmente nos volumes de baixo nível. (CUNHA, 2004; AHNERT & TENNHARDT, 2008).

O tempo de decaimento inicial, assim como tempo de reverberação, avalia decaimento sonoro. Todavia, o EDT avalia o tempo necessário para que o nível sonoro decaia os primeiros 10 dB em relação ao som inicial emitido. Esse valor é então multiplicado por 6 (CAVANAUGH, TOCCI, WILKES, 2010). Pela figura 9, nota-se que se trata de um

parâmetro que representa as características do som até decair os primeiros 10 dB, ou seja, a porção inicial do som. A qualidade desse parâmetro indica melhor mascaramento da reverberação tardia existente com a emissão de uma nova sílaba. Com isso, havendo menor valor de EDT em relação ao TR, isso indica que o som da primeira sílaba emitida está decaindo mais rápido, o que dá mais inteligibilidade à sílaba seguinte e, conseqüentemente, ao discurso como um todo.

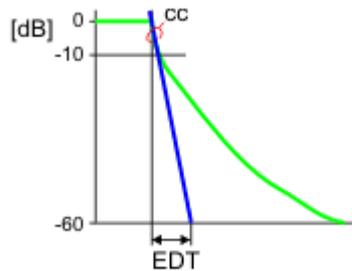


Figura 9 - Tempo de decaimento inicial (EDT) calculado do prolongamento da reta de ligação com que 0 a -10 dB.

Fonte: Brüel & Kjær, 2005.

2.1.3.4 Definição 50 (D50)

Outro parâmetro que também influencia na inteligibilidade da fala é a definição 50 (D50). Esse parâmetro está associado à distribuição do som quando emitido pela fonte e à quantidade de energia que chega ao receptor nos primeiros 50 ms. A energia sonora que chega aos primeiros 50 ms poderá ser de som direto e reverberante e esta parcela reverberante pode se integrar ao som direto, sem maiores problemas para a inteligibilidade da fala, (AHNERT&TENNHARDT; MAPP, 2008). Pg 184

Na equação abaixo, tem-se a razão entre a porção de energia recebida nos primeiros 50 ms (E_{50}) e a quantidade total de energia emitida por uma fonte (E_{∞}).

$$D_{50} = \frac{E_{50}}{E_{\infty}}$$

Dessa forma o D50 será igual a 1 se toda a energia emitida chegar ao receptor nos primeiros 50 ms. Para BARRON (2010) e AHNERT&TENNHARDT (2008) valores maiores que 0,5 são considerados satisfatórios para a inteligibilidade da fala. 184

2.1.3.5 Ruído de fundo ou nível de pressão sonora equivalente (LAeq)

Segundo a NBR12179/1992, “ruído é uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa e que diferem entre si por valores imperceptíveis ao ouvido humano.”.

Todo ambiente possui, devido às fontes externas ou à própria atividade desenvolvida internamente um ruído de fundo. Esse ruído pode causar vários efeitos sobre a audição humana que vão desde uma simples perturbação até alterações permanentes, que ocorrem quando pessoas ficam expostas diariamente a altos níveis de ruído. Em se tratando de salas de aula, o ruído, além de ser um incômodo, também interfere no rendimento das atividades de ensino (FERNANDES, 2006).

Também conhecido como nível de pressão sonora ambiental ou nível de pressão equivalente, o ruído de fundo é representado em escala de ponderação “A”, isto é, em dB(A) que, conforme AYR, CIRILLO, FATO, MARTELOTTA (2002) é provavelmente o índice de ruído mais difundido da atualidade e correlaciona-se bem com muitos efeitos psicofisiológicos do ruído.

O nível de pressão sonora LAeq pode ser dado pela equação abaixo:

$$L_{aeq} = 10 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2 \text{ (dBA)}$$

Onde P_0 é a pressão sonora de referência 20 μ Pa e

P_A é o nível de pressão sonora ponderado em dB(A).

Segundo SALA e VILJANEN (1994) numa sala de aula onde o professor pode estar a uma distância de até 8 metros dos alunos, para ter uma fala inteligível, um baixo ruído de fundo ao lado de boas condições acústicas é imprescindível. Além disso, a própria atividade dentro da sala poderá diminuir a inteligibilidade da fala devido ao aumento de ruído.

Com a preocupação de avaliar o ruído de fundo, a NBR 10151 (2000) descreve os procedimentos necessários para as medições e recomenda que seja calculada a média dos resultados de LAeq de pelo menos 3 medições que cada ambiente que se pretende avaliar. Além disso, a NBR 10152 (1987) indica níveis de ruído de fundo para conforto acústico e baseia-se em dois parâmetros: o LAeq e a curva de avaliação NC (noise criteria), conforme figura 10.

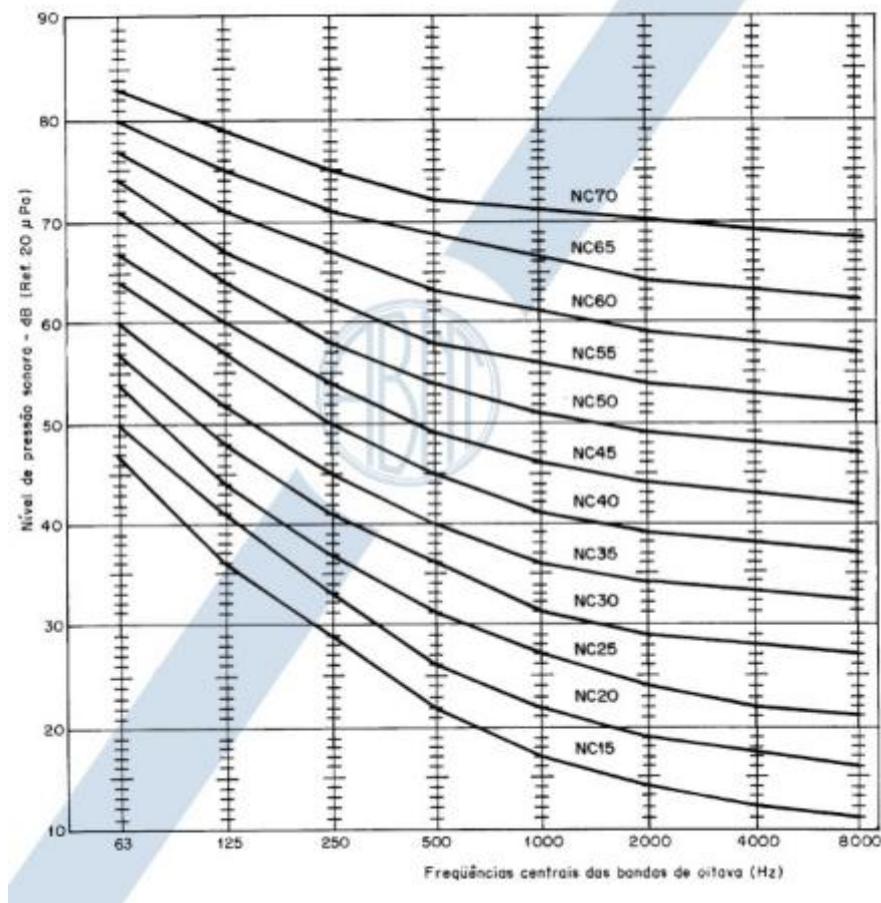


Figura 10 - Curvas de avaliação de ruído NC.

Fonte: NBR 10152, 1987, p. 03.

Através da análise da curva de avaliação NC, tem-se a avaliação do espectro de frequências de um ruído, o que é muito importante quando se pretende projetar um ambiente acústico ou tratar um ambiente, pois, cada material responde de uma forma diferente em relação a cada frequência. Segundo MEHTA et. al. (1999), apud CUNHA (2004) e AYR, CIRILLO, FATO, MARTELOTTA (2002) os critérios de ruído que compõem a NC foram baseados em estudos subjetivos, realizados através de extensas entrevistas a pessoas em diferentes ambientes de trabalho que especificaram níveis de ruído de fundo aceitáveis.

Apesar de trazer um espectro de frequências, o nível de ruído de fundo pode ser medido de uma forma global e, através da tabela 3, extraída da NBR 10152, 1987, tem-se uma NC equivalente para diferentes ambiente.

Tabela 3- Valores dB (A) e NC.

Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
Hotéis		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
Restaurantes	40-50	35-45
Escritórios		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40
Salas de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanografia	50-60	45-55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40-50	35-45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Fonte: NBR 10152 (1987) p. 02.

Para o caso de salas de aula, tem-se como admissível os valores entre 40 e 50 dB(A), que correspondem a NC 35 a NC 45, os quais 40 dB correspondendo ao nível de pressão sonora de conforto e 50 dB o nível pressão sonora máximo aceitável para a atividade.

Assim como outros parâmetros já apresentados, o nível de ruído ideal depende do ambiente que se analisa. Conforme JONES (2008) níveis de ruído correspondentes às curvas localizadas abaixo da NC-30 são, geralmente, considerados tranquilos. Por exemplo, uma NC-25 é satisfatória para uma residência, todavia, para um estúdio de gravação, onde se indica valores de NC-20 ou mesmo NC-15, algo caro e difícil de obter em ambientes urbanos, esse valor já estaria em um limite superior admissível.

2.1.3.6 Perda de porcentagem na articulação das consoantes (%ALcons)

Um sinal de voz envolve as seguintes dimensões: som, tempo e frequência. Além disso, as ondas sonoras geradas através da fala são altamente complexas, com amplitudes e frequências que mudam a cada milissegundo. Nessa variação de parâmetros, os sons consonantais diferenciam-se dos sons vocais por terem menor amplitude e duração, como já vista na figura 5 (figura da palavra back). Em média, um som consonantal tem duração de 65 ms enquanto um som vocal possui duração de 100 ms. Isso pode fazer com que a cauda reverberante de uma vogal se sobreponha ao som consonantal que vier em seguida e haja uma perda de inteligibilidade. (MAPP, 2008).

Segundo PEUTZ (1971), verificou que a porcentagem perda de articulação das consoantes %ALcons das palavras é decisiva para a avaliação da fala em salas e com isso desenvolveu um critério de avaliação da inteligibilidade da fala como mostra a equação 2.5 abaixo:

$$ALcons \approx 0,652 \left(\frac{r_{LH}}{r_H} \right)^2 TR_{60}$$

Onde:

- r_{LH} é a distância da fonte sonora ao receptor, dada em metros (m);
- r_H é o raio de reverberação dado em metros (m);
- RT_{60} é o tempo de reverberação em segundos (s).

O parâmetro %ALcons também pode ser derivado do índice de transmissão da fala (STI), por meio da fórmula de Farrel Becker (BRUEL&KJAER, 2005), conforme a Equação 2.4.

$$Alcons = 1705405e^{-5419(STI)}$$

A tabela 4 a seguir apresenta a escala de aceitabilidade conforme a porcentagem de perda de articulação:

Tabela 4 - Ponderação subjetiva de %ALcons.

INTELIGIBILIDADE SUBJETIVA	% Alcons
IDEAL	≤ 3
BOA	3-8
SATISFATÓRIA	8-11
POBRE	>11
RUIM	>20

Fonte: Adaptado de AHNERT&TENNHARDT (2008) p.156.

2.1.3.7 Índice de transmissão da fala (STI)

O Índice de Transmissão Speech (STI) é uma medida objetiva para prever a inteligibilidade da fala transmitida de um locutor para um ouvinte por um canal de transmissão e tem sido estudado desde a década de 1970. (IEC 60268-16, 2011)

A fala é considerada o principal meio de comunicação entre humanos. Em muitas situações, o sinal de voz pode ser degradado no caminho locutor-receptor diminuindo a inteligibilidade do discurso. Para quantificar essa deterioração, foi desenvolvido o STI. O método caracteriza-se pela emissão de um sinal de teste e pela análise desse sinal de teste recebido. O valor de STI pode variar entre 0 e 1, onde um valor igual a 1, por exemplo, indica uma inteligibilidade da fala excelente (IEC 60268-16, 2011). Os valores estão detalhados na tabela 5.

Tabela 5 - Escala de avaliação de STI.

STI	INTELIGIBILIDADE DA FALA
0,00-0,30	RUIM
0,30-0,45	POBRE
0,45-0,60	RAZOÁVEL
0,60-0,75	BOM
0,75-1,00	EXCELENTE

Fonte: Adaptado de IEC60268-16, 2011.

Para as medições de STI, será usado o software DIRAC. Os parâmetros de inteligibilidade da fala em DIRAC baseiam-se na relação entre a inteligibilidade da fala percebida e as modulações de intensidade na voz do locutor, como descrito por HOUTGAST, STEENEKEN e PLOMP (1980) apud (BRÜEL&KJÆR, 2005). Quando uma fonte de som em um quarto está produzindo um som de intensidade modulada M, a modulação na posição de receptor será reduzida devido a reflexões do ambiente e ruído de fundo. Assim, a função de transferência de

modulação (MTF) descreve até que ponto a modulação M é transferida da fonte ao receptor, como uma função da frequência de modulação F , que varia 0,63-12,5 Hz, ou seja, mede a redução da modulação do sinal desde a emissão até a recepção. Assim, a MTF depende das propriedades do sistema e o ruído de fundo (BRÜEL&KJÆR, 2005).

STEENEKEN E HOUTGAST (1980) apud AHNERT&TENNHARDT (2008) propuseram excitar um quarto ou espaço aberto com um ruído de modulação especial e em seguida determinar a modulação do sinal quando recebido. Os autores partiram do pressuposto de que não só a reverberação ou o ruído do ambiente reduzem a inteligibilidade da fala, mas em geral todos os fatores externos ou de mudanças que ocorrem no caminho que o sinal percorre da origem para o ouvinte também podem interferir. Para verificar esta influência empregaram a Função de Transferência Modulada (MTF).

Quanto maior for a interferência do meio, seja com reverberação, ruído de fundo, etc., menor será MTF, o que indica uma significativa redução da inteligibilidade da fala. A MTF é determinada para cada faixa de frequência de oitava envolvida. As bandas de frequência de oitava utilizadas estão relacionadas com a gama de frequências típicas da voz humana. (BRÜEL&KJÆR, 2005).

2.2 RESUMO DOS PARÂMETROS ANALISADOS

A tabela 6 traz o resumo dos parâmetros analisados com respectivas unidades e critérios de aceitabilidade adotados no trabalho.

Tabela 6- Tabela resumo dos parâmetros analisados

PARÂMETRO	SIGLA	UNIDADE	ACEITABILIDADE
RELAÇÃO SINAL RUÍDO	SNR	dB	MAIOR QUE 10
TEMPO DE REVERBERAÇÃO	TR	s	0,5-0,7
TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL	EDT	s	0,5-0,7
DEFINIÇÃO 50	D50	-	MAIOR QUE 50%
RUÍDO DE FUNDO	L _{Aeq}	dB(A)	40-50
PERDA DE % NA ARTICULAÇÃO DAS CONSOANTES	% Alcons	%	VER TABELA 4
ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA	STI	-	VER TABELA 5

Fonte: a autora.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade acústica em salas de aula tem se tornado um tema recorrente em trabalhos e pesquisa no mundo. Um ambiente em que a fala é uma das suas principais formas de expressão concentra o foco acústico na inteligibilidade da fala.

Vários parâmetros podem ser avaliados quando se fala em inteligibilidade da fala. Todavia, durante a pesquisa, o que se observa é que não há uma forma geral em relação a quais parâmetros devem ser analisados e a quais são os mais importantes para determinados ambientes para melhor medir a inteligibilidade da fala. Nos trabalhos estudados ao longo da pesquisa, o que foi encontrado na maioria dos casos, foram ensaios que abordaram poucos parâmetros, geralmente TR e LAeq sem, muitas vezes, associá-los às condições em que os ensaios foram realizados.

AMORIM (2007) fez estudos em salas de aula de escolas públicas de Campinas-SP. O trabalho objetivou identificar formas geométricas mais comuns, apresentar o comportamento dos parâmetros acústicos quanto à inteligibilidade da fala e apontar as formas mais favoráveis à qualidade acústica de salas de aula. Constatou que as formas mais comuns apresentadas pelas salas de aula era a quadrada com dimensões (7,0x7,0m) e retangular com dimensão (6,0x8,0m).

Avaliou dezessete (17) salas com diferentes condições acústicas e volumes e fez medidas de Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Nível de Ruídos de Fundo (LAeq), Definição 50 (D50), Índice de Transmissão de Fala (STI), Perda de Porcentagem na Articulação das Consoantes (ALcons%). As salas foram divididas em cinco (5) grupos identificados com base nas suas dimensões em metros (m), conforme tabela 7. Fez análise dos dados através do método de Resposta Impulsiva da sala com o uso do programa DIRAC 3.1. O sistema de medição é constituído basicamente de quatro equipamentos: uma fonte sonora omnidirecional para excitar o ambiente, um amplificador de potência, um microfone também omnidirecional acoplado ao medidor de pressão sonora para captação do som emitido e um microcomputador com placa digitalizadora de som, a qual faz a conversão do sinal analógico-digital (e vice-versa), para realizar o processamento dos sinais. Posicionou a fonte nos pontos usuais dos professores e os microfones nos pontos usuais dos alunos, de forma a abranger o campo sonoro da sala. As medições foram realizadas com ventiladores ligados e desligados.

AMORIM (2007) indica como principais definidores da inteligibilidade da fala há várias décadas, o TR e LAeq. Com os resultados, relatou o aumento do LAeq, ficando este acima do recomendado pelas normas brasileiras (50 dB), com a utilização da ventilação mecânica. Por ser um fator dependente do ruído de fundo, o STI também sofreu uma redução nos seus resultados nas medições com ventilação mecânica, sendo reduzido para da faixa de 0,53 a 0,25 e, com isso, também na escala de classificação para predominantemente “pobre”.

Tabela 7- Tabela resumo dos Grupos de salas avaliados por AMORIM (2007)

GRUPOS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D	GRUPO E
DIMENSÃO	7,0X7,0	6,0X8,0	5,0X8,0	7,0X3,5	9,0X8,0
QUANTIDADE	6 SALAS	5 SALAS	2 SALAS	3 SALAS	1 SALAS

Fonte: a autora com base nos dados de AMORIM (2007).

OLIVEIRA (2006) avaliou o desempenho acústico de salas de aula de dimensões reduzidas, com volume que variam de 20 a 50 m³, usadas por escolas de línguas estrangeiras objetivando a qualidade da inteligibilidade. Levantou dos dados arquitetônicos e construtivos de salas de aula selecionados, em seguida foram feitas medidas acústicas através da técnica de resposta impulsiva IR com parâmetros avaliados pelo software DIRAC 3.0. Os parâmetros medidos foram: Ruído de Fundo (LAeq); Tempo de Reverberação TR, Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição 50 (D50), para avaliar o efeito das reflexões sonoras nas salas; Índice de Transmissão da Fala (STI), Índice Rápido de Transmissão da Fala (RASTI) e Perda de Porcentagem de Articulação das Consoantes (%ALCons). As salas foram identificadas por características como: Escola, localização, dia da semana e horário dos ensaios, identificação do mobiliário, dimensões da sala, posição dos equipamentos de medição.

Para as medições da LAeq, OLIVEIRA (2006) fez ensaios com e sem ares-condicionados ou ventiladores ligados em três pontos diferentes em cada sala. Adotou como posição do microfone altura de 1,20 m do chão, 1,00 m das paredes e 1,50 m das janelas. Em resumo, a fonte sonora foi colocada no local que representa a posição do professor e o receptor do sinal sonoro no local que representa as posições dos alunos. As medições foram feitas com janelas fechadas.

Avaliando o espectro de frequências, OLIVEIRA (2006), constatou que em menores frequências o Nível de Ruído de Fundo é maior e quando a ventilação mecânica é ligada, há um aumento de 10 dB de ruído. Segundo a autora, STI, RASTI e %ALCons representam a

qualidade da inteligibilidade da fala, quanto a esses parâmetros, todas as salas foram classificadas como “BOAS” ou “ACEITÁVEIS”, todavia, com a utilização de ventilação mecânica algumas salas apresentaram classificação “POBRE” ou “RUIM”. Quanto ao TR, nenhuma das salas apresentou valores satisfatórios para a frequência analisada de 500 Hz, tendo como melhor desempenho 0,83 s que, segundo a autora, para ser classificado como satisfatório, deveria estar entre 0,4 e 0,6 s. om isso, propôs para melhor TR, a adoção de matérias absorventes nas salas.

BARBOSA e ROLLA (1993) fez um estudo sobre condições acústicas de uma sala de aula do bloco maternal com dimensões 5,70 m x 3,90 m x 2,30m, com volume de aproximadamente 52 m³, no Núcleo de Desenvolvimento Infantil (NDI) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Utilizando as médias aritméticas de três 3 pontos em cada sala, fez medições de LAeq, TR, ensaios de inteligibilidade e a influência dos sistemas construtivos. As medições foram feitas com portas e janelas fechadas e abertas. O tempo de reverberação apresentou resultados maiores que o ideal e a inteligibilidade alcançou uma percentagem de 84,7%. Todavia, evidencia a necessidade de adequação nas condições acústicas do ambiente estudado, como o aumento do isolamento dos fechamentos laterais para melhoria de LAeq e o aumento na absorção sonora interna da sala, por exemplo, revestindo as paredes com material absorvente, para melhora de TR. Além disso, atribuiu ao pequeno volume da sala, devido ao pequeno pé direito, incompatibilidade com o bom desempenho acústico da sala.

HODGSON (2003) fez análise de características acústicas em 14 salas de aula universitárias da Universidade British Columbia antes e depois de reformas. Utilizou uma fonte direcional, para simular a fala do professor. Em cada sala, foram realizadas medições com diferentes locações do receptor utilizando o método de Resposta Impulsiva. Os ensaios foram realizados em posições típicas de alunos e professores. A fonte sonora foi posicionada a 1,40 m do chão. Discutiu o resultado de sete dessas salas. Os resultados indicaram que algumas reformas foram benéficas, outras não. Através da avaliação de STI, constatou que a qualidade da comunicação verbal das salas variou a escala de classificação entre "pobre" e "bom". Observou que para ter uma melhoria atribuída às reformas uma complexa interação entre as mudanças na reverberação e mudanças na diferença de nível de sinal-ruído (SNR) deveria ser levada em consideração. Através do estudo, podem-se gerar diretrizes para as reformas futuras que enfatizassem uma melhoria nas condições acústicas das salas de aula.

ZANNIN e ZWIRTES (2008) analisaram a acústica de seis (6) salas de aula de seis (6) escolas de diferentes projetos construtivos no estado do Paraná com base em medições do tempo de reverberação, nível de pressão sonora dentro e fora das salas de aula e isolamento acústico. As salas foram divididas em três (3) grupos, conforme os diferentes projetos concebidos em três diferentes décadas-70,80 e anos 2000-, e volumes-139m³ para dois grupos e 156m³ para o terceiro grupo. Para cada sala, foram feitas medições em três diferentes pontos e posteriormente foi avaliado o valor médio dos três pontos. Para medir o tempo de reverberação RT, foi utilizado um analisador de som modular de tempo real BK 2260 (Brüel e Kjaer), que emite um sinal de ruído rosa para um amplificador de potência BK 2716 conectado à fonte sonora BK 4296 dodecaédrica omnidirecional. O som gerado foi capturado por um microfone conectado ao analisador BK 2260, que automaticamente apresenta o TR para cada frequência.

As salas de aula foram avaliadas sob as seguintes condições: (1) salas de aula vazias e (2) salas de aula ocupadas. Em todas as situações as escolas avaliadas não estavam vazias, enquanto as atividades rotineiras eram realizadas. Os níveis de pressão sonora foram obtidos a partir de medidas tanto dentro das salas de aula como fora da escola.

Os resultados de ZANNIN e ZWIRTES (2008) revelaram a má qualidade acústica das salas de aula pesquisadas, para os três projetos estudados. Alega que tantos erros de projeto - posicionamento do pátio e espaços recreativos em relação às salas- como de utilização de materiais de baixo coeficiente de absorção são causadores do mau desempenho das salas de aula. E alerta que os erros ou deficiências acústicas nessas salas são provavelmente repetidos em outras salas de ambientes educacionais prejudicando a aprendizagem de centenas de estudantes em todo o estado.

LOSSO (2003) fez uma avaliação subjetiva de escolas públicas do estado de Santa Catarina objetivando encontrar diretrizes de projeto que contemplem os aspectos acústicos na construção de novas escolas. Foram estudadas salas com padrão de tamanho de 6,0mx8,0m, com pé-direito de 2,70 a 3,75 m. Foram estabelecidas quatro categorias de volume, as quais variavam de 100 m³ até valores maiores que 180 m³, conforme tabela 8.

Tabela 8- Porcentagem de salas avaliadas por LOSSO (2003) por volume m³.

VOLUME	< 100M ³	100-129M ³	130-180M ³	>180M ³
%	5	12,8	71,8	10,4

Fonte: LOSSO (2003, p.69)

A metodologia usada por LOSSO (2003) foi entrevista e questionário, que procurou investigar a problemática do ponto de vista dos professores. Os parâmetros analisados foram Ruído de Fundo (LAeq), Tempo de Reverberação (TR) e Tempo de Decaimento Inicial (EDT), que apresentaram valores acima do aceitável, produzindo um nível de inteligibilidade que não passou de 88% na melhor condição analisada. Os resultados das pesquisas apontam que 59% dos professores já tiveram ou têm problemas vocais, em função do uso da voz e da elevação do nível sonoro da voz. Como principais causas para essa elevação, 55% são devido ao Ruído de Fundo e 19% à arquitetura da sala. O autor conclui que esses resultados demonstram a precária situação das salas de aulas das escolas causada principalmente pela falta de planejamento da tipologia das salas e utilização de materiais inadequados nas edificações.

ZANNIN e MARCON (2005) avaliaram o conforto acústico de salas de aula em uma escola pública brasileira através de entrevistas com 62 professores e 464 alunos. Foram realizadas medições de ruído de fundo, tempo de reverberação e isolamento acústico. Como as salas estudadas Como as salas de aula estudadas foram construídas sem materiais absorventes em seu interior, as simulações foram feitas através de colocação de materiais absorventes no teto. Os materiais simulados foram gesso, madeira compensada e madeira perfurada e assim, suas influências no Tempo de Reverberação foram calculadas.

As salas estudadas pertencem a escolas que possuem o mesmo projeto. Cada escola possui quatro salas de aula separadas por um corredor de circulação central e medem $7,0 \times 7,0 \times 3,1 \text{ m}^3$. As paredes que separam o corredor das salas de aula têm uma abertura de ventilação e iluminação permanente através de tijolos vítreos. Cada sala comporta no máximo 40 alunos.

Medições acústicas revelaram a pobre qualidade acústica das salas de aula. As entrevistas mostraram que a principais fontes de ruído nas salas de aula são a voz dos estudantes e dos professores de salas vizinhas. Os valores de ruído de fundo e tempo de reverberação foram comparados com os valores prescritos de acordo com as normas brasileiras e com vários padrões em vigor também em diferentes países.

Os níveis de ruído de fundo medidos nas salas de aula, conforme ZANNIN e MARCON (2005), foram muito superiores aos valores recomendados por ambas as prescrições normativas, nacionais e internacionais. A provável explicação para os altos níveis de ruído de fundo dentro das salas de aula é o baixo isolamento acústico entre as salas e o corredor.

Quanto ao tempo de reverberação, os resultados revelaram que as salas de aula brasileiras não atendem a nenhuma das recomendações técnicas, seja nacional ou internacional. Apenas quando as salas estão totalmente ocupadas, com 40 alunos, oferecem tempos de reverberação adequados. Afirma, com isso, que as salas de aula são caracterizadas pela falta de materiais absorventes, confirmada por altos tempos de reverberação. As simulações do tempo de reverberação demonstraram que um simples tratamento acústico do teto melhoraria significativamente o tempo de reverberação dentro da sala de aula. As salas de aula se tornariam acusticamente aceitáveis, de acordo com os valores de tempo de reverberação estabelecidos não apenas pela Norma Brasileira NBR 12179, como também para parâmetros adotados por normas internacionais e, com isso, constatou a ocorrência de erros na escolha de materiais construtivos ou erros de projetos.

PEDRAZZI et al. (2001), realizaram um estudo das características acústicas de salas de aula do CEFET-PR do bloco de engenharia e avaliaram o comportamento dos usuários quanto ao desconforto gerado pelo nível de ruído existente. A análise foi feita em duas etapas: com os alunos usuários das salas de aula com a aplicação de questionários e avaliação de nível de ruído no interior das salas de aula. Consideraram ensaios com janelas fechadas e abertas para verificar a redução do ruído proporcionado pelas esquadrias e vidros existentes. Os dados obtidos foram comparados com os parâmetros tabelados para escolas e concluíram que os níveis de ruído sonoro existentes nas salas de aula não são aceitáveis e nem confortáveis.

Diante desses casos referenciados, o que se observa como padrão é uma preocupação dos autores na busca por qualidade acústica em salas de aula. Além disso, contata-se um problema não só recorrente em salas de aula no Brasil, mas em várias partes do mundo.

TANG e YEUNG (2003) observou as variações de comportamento dos parâmetros acústicos à medida de modificava as condições de operação das salas. Fez ensaios com uso de decaimento de pulso sonoro em salas de aula de 18 escolas, distribuídas em quatro grupos, em Hong Kong. Os layouts arquitetônicos e mobiliários das salas de aula nestas escolas são padronizados. As salas eram basicamente retangulares com volumes médios de 183, 313, 179, 173 m³. Fez medições de STI e Tempo de Reverberação, em bandas de oitava, através do software DIRAC, juntamente com o analisador de som Bruel & Kjaer 2260B, que capturou os sinais de decaimento do pulso de som.

As medições foram realizadas após o horário escolar ou nos feriados escolares para minimizar a influência das atividades escolares nas medições de pulso. Pelo menos seis medições em

locais diferentes foram realizadas em cada sala de aula sob cada condição de operação. Os pulsos foram criados estourando balões inflados no nível da boca de um adulto na frente dos quadros negros e os padrões de decadência de pulso foram capturados ao nível da orelha dos alunos sentados.

Observou que as salas de aula incluem as salas de ensino geral, salas de informática, salas de música e os laboratórios. Caracterizou a absorção de som nas salas de ensino geral e laboratórios como muito limitada, enquanto tapetes e cadeiras com materiais de absorção de som eram normalmente encontrados apenas nas salas de informática e de música.

As leituras foram realizadas em três condições normais das salas de aula são consideradas. O primeiro com "janela fechada, ar condicionado desligado". Isso, conforme TANG e YEUNG (2003), reflete a acústica fundamental da sala de aula. A segunda condição seria "janela fechada, ar condicionado ligado" (C2), que seria o modo de funcionamento de verão das salas de aula.

Isso aumentou, segundo TANG e YEUNG (2003), os níveis de ruído de fundo enquanto a reverberação da sala não foi muito afetada. A última condição analisada foi "janela aberta, ar condicionado desligado" (C3). Este seria o modo de operação mais comum das salas de aula em Hong Kong. Constatou que a reverberação foi reduzida, mas o ruído externo instável nas salas de aula aumentou.

4 METODOLOGIA

O trabalho consiste em um estudo de caso de natureza exploratória e avalia a inteligibilidade da fala em dois prédios da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Os dois prédios estão localizados dentro do campus de Recife e foram construídos em diferentes décadas. O mais antigo, o Centro de Tecnologia e Geociências-CTG, construído em meados da década de 60, havendo, em 1967, o início das atividades no prédio, e o Niate-CCEN/CTG, construído entre os anos 2012 e 2013.

4.1 CTG

O Centro de Tecnologia e Geociências-CTG resultou da fusão da antiga Escola de Engenharia de Pernambuco, fundada em 1895, com a Escola de Química, a Escola de Geologia, o Laboratório de Ciências do Mar e o Centro de Energia Nuclear. Suas instalações, no Campus, ocupam uma área construída de 50.163m², abrigando laboratórios de ensino e pesquisa e uma biblioteca setorial. As Figuras 11 e 12 abaixo apresentam as vistas laterais do prédio.

Localiza-se na Cidade Universitária na Avenida da Arquitetura, no bairro da Várzea.



Figura 11 - Vista lateral CTG.

Fonte: www.guiaufpe.com.br



Figura 12- Vista lateral CTG.

Fonte: www.apontador.com.br

Apesar do campus da UFPE de Recife estar localizado às margens da BR-101 com o prédio do CTG a uma distância de cerca de 400m desta, o ruído de tráfego da BR-101 não interfere nas salas de aula estudadas. Todavia, apesar do Aeroporto Internacional do Recife estar localizado a 13 km do Campus, a influência do ruído das aeronaves não pode ser desprezada. Durante os ensaios realizados, houve o cuidado de paralisá-los todas as vezes que o ruído das aeronaves interferia.

Para o estudo, foram analisadas as salas do primeiro pavimento, totalizando 19 salas de aula. As salas foram divididas em três grupos: Salas grandes, que totalizaram oito salas, salas pequenas disposição 01, com um total de cinco salas, e salas pequenas disposição 02, com um total de seis salas. Todas possuem o pé direito de 3,50m. A figura 13 abaixo apresenta uma sala pequena disposição 01 e uma sala pequena disposição 02.



Figura 13-Salas pequenas disposição 1 e 2 respectivamente.

As salas não possuem padrão quanto à mobília, ventilação mecânica e piso. Quanto à geometria, ao acabamento das paredes e janelas laterais, há uniformidade. Na figura 15, há duas salas. Do lado esquerdo há uma sala grande com cadeiras de plástico, piso cimentado,

quatro janelas abertas. Do lado direito, há uma sala pequena disposição 01 com piso de taco de madeira, presença de batente, duas janelas abertas e cadeiras de plástico. Como observado, cada sala traz combinações de características físicas próprias. O que há em comum entre elas é o acabamento das paredes e o tipo de janelas assentadas.



Figura 14- Cadeiras e mesas CTG. a- Cadeira estofada revestida de couro sintético com mesa conjugada revestida em fórmica preta; b- Mesa de plástico duro com mesa conjugada revestida de fórmica branca; c- Cadeira estofada revestida em couro sintético sem mesa conjugada; d- Mesa e cadeira revestida de fórmica branca.



Figura 15- Sala grande à esquerda com cadeiras de plástico duro e mesa conjugada revestida de fórmica branca e piso cimentado e, a direita, sala pequena disposição 01 com piso de taco de madeira e batente.

Durante a análise das salas, foram observadas as seguintes diferenças:

- Quantidade e funcionamento dos ventiladores;
- Marcas, quantidades e qualidade de aparelhos de ar-condicionado;
- Tipo de assentos disponibilizados para os alunos;
- Tipo de revestimento do piso;
- Presença de palco para elevar a altura dos professores;
- Janelas superiores abertas ou fechadas.

Os ventiladores das salas, quando presentes, são de teto quatro hélices, muito antigos e todos em péssimo estado de conservação, muitos não funcionavam.

Os aparelhos de ar-condicionado variam na potência (BTU), marca (Elgin, Eletrolux, LG, HITACHI) e estado de conservação.

A tabela 8 apresenta as salas e quais delas possuem ventiladores e ares-condicionados.

Os assentos encontrados estão apresentados na figura 14. Como observado, alguns são estofados e revestidos em couro sintético (a e c), outros são de madeira revestidos com fórmica (d) e a maioria é de plástico duro (b). Os assentos de plástico possuem a mesa conjugada e revestida em fórmica branca (b). Algumas salas apresentam os assentos separados das mesas (d) que possuem tamanho de $0,60 \times 1,00 \text{m}^2$ e são revestidas de fórmica. Os assentos estofados variam quanto às mesas, apresentando, em algumas salas, as mesas conjugadas revestidas de fórmica preta (a) e em outras as mesas separadas (c).

As paredes e teto das salas possuem o mesmo acabamento: reboco liso e pintura. As janelas seguem o mesmo padrão, sendo de correr de vidro com esquadrias de alumínio. Quando abertas, oferecem uma área de 1m^2 para o exterior. Nas figuras 13 e 15, pode-se notar o mesmo acabamento das paredes das salas e mesmo tipo de janelas. Tanto janelas como paredes e teto, segundo a tabela 9 de classificação de absorção acústica de Hana W. Bobran, apud NBR 12179/1992, estão classificados como um tipo de revestimento denso que possui baixo índice de absorção, o que indica que praticamente todo o som será refletido ao incidir nessas superfícies.

Tabela 9- Coeficientes de absorção de Hana W. Bobran.

MATERIAIS	FREQUÊNCIA (HZ)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Materiais de construção, usuais, densos; Revestimento, pintura						
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Teto pesado suspenso (de gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfícies de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimento de pedras sintéticas	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Revestimento aderente de vidro	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Revestimento de vidro espaçado a cada 5cm de parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Assoalhos						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Linoleu	0,02	-	0,03	-	0,04	-

Fonte: Adaptado de Hana W. Bobran apud NBR 12179/1992, pag. 05.

Quanto ao piso, dois tipos foram observados, conforme figura 13. O primeiro, cimentado (estuque, Korodur), está presente na maioria das salas e na tabela 9 está classificado entre materiais de construção de baixa absorção. Já o segundo tipo, “taco colado” está entre assoalhados na tabela e apresenta um coeficiente de absorção que, embora baixo, é melhor que o piso cimentado das outras salas. Ambos estão destacados na tabela 10.

Tabela 10- Tabela de coeficientes de absorção de Hana W. Bobran.

MATERIAIS	FREQUÊNCIA (HZ)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Materiais de construção, usuais, densos; Revestimento, pintura						
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Teto pesado suspenso (de gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfícies de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimento de pedras sintéticas	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Revestimento aderente de vidro	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Revestimento de vidro espaçado a cada 5cm de parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Assoalhos						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Linoleu	0,02	-	0,03	-	0,04	-

Fonte: Adaptado de Hana W. Bobran apud NBR 12179/1992, pag. 05.

Em algumas salas, há um palco de altura de 0,35m conforme figura 15, na sala pequena disposição 01 (lado direito). Além disso, algumas salas apresentam janelas superiores com frestas abertas. A figura 16 mostra o modelo das janelas superiores, que possuem dimensões de (0,45 x 0,75) m. Em muitas salas, essas janelas foram fechadas com chapas de madeira para ter uma melhor eficiência dos aparelhos de ar-condicionado de forma que não puderam ser abertas para realização dos ensaios.



Figura 16- Sala pequena disposição 01 com janelas superiores de frestas abertas.

As salas foram divididas em três grupos:

-Salas grandes (8) com capacidade para 70 alunos, com dimensões de (9,60m x 10,35m x 3,50m) e volume de 347,76m³. (Ver figura 17);

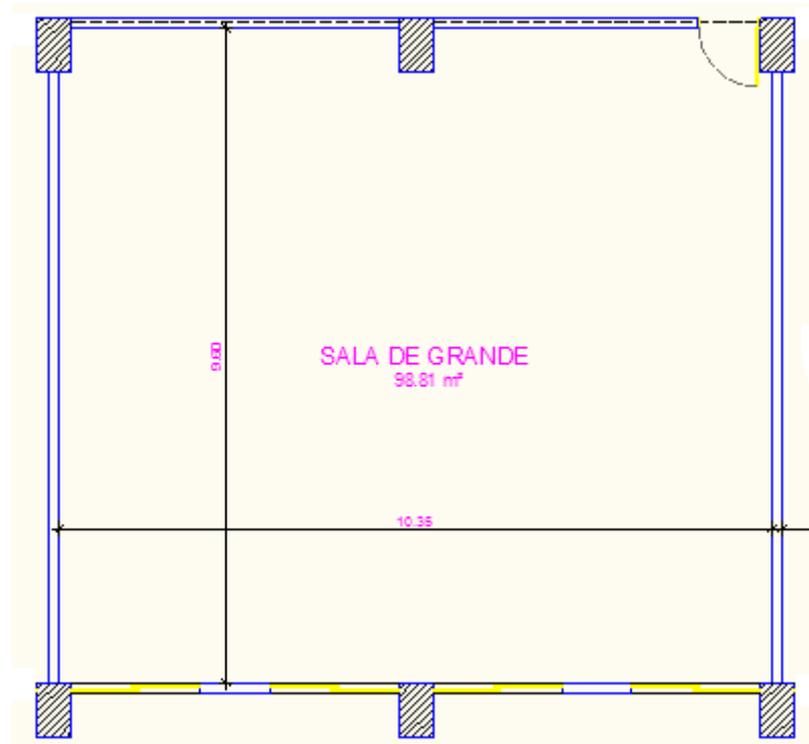


Figura 17-Sala grande CTG.

-Salas pequenas disposição 01(5) com janelas na lateral, conforme figura 18 com capacidade para 40 alunos e dimensões de (5,10m x 9,60m x 3,50m) e volume de 171,36m³.

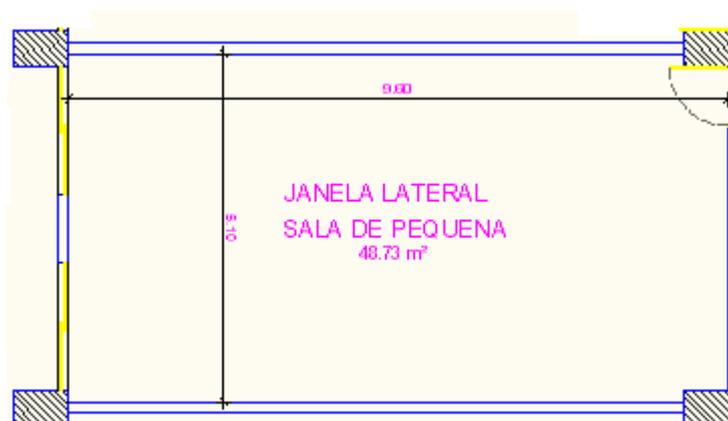


Figura 18- Sala pequena disposição 01 CTG.

- Salas pequenas disposição 02 (6) com janelas no fundo, conforme figura 19, com capacidade para 40 alunos e dimensões de (9,60m x 5,10m x 3,50m) e volume de 171,36m³.

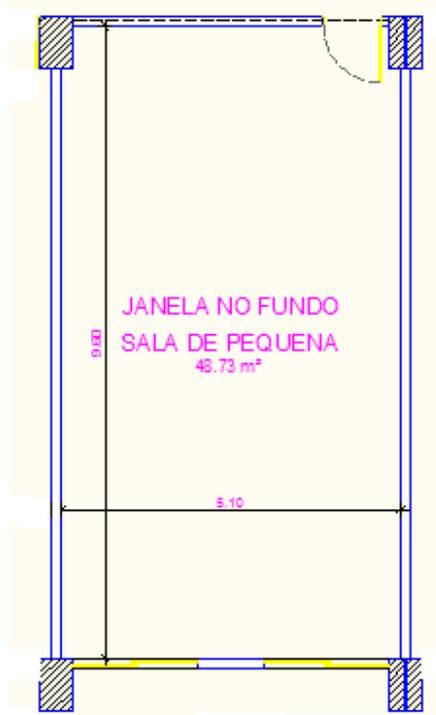


Figura 19- Sala pequena disposição 02 CTG.

A tabela 11 apresenta todas as características descritas acima de forma resumida.

Tabela 11- Resumo das características apresentadas nas salas CTG

SALA	TIPO	DISP	PISO			VENTILADOR	AR-CONDICIONADO	TIPO DE ASSENTO			MESA GRANDE FÓRMICA	BATELÉ	FRESTAS FECHADAS
			madeira	cimento	cerâmica			estofada	plástico	fórmica			
101	P	1			x		2	x					x
102	P	1			x		2	x					x
103	G		x				2	x			x		x

104	G			x			2			x	x		
106	P	2		x		2	1		x				x
107	P	1	x			2	1		x				
108	P	2	x				1		x				
109	P	2		x		1	1		x				
110	G			x		6	2		x			x	
111	G			x		6	2	x				x	
113	G			x		6	2	x				x	
114	P	2		x					x				x
115	P	2		x			1		x				x
117	P	1		x		2	2		x				
120	P	2	x			2	1		x				
121	P	1	x			1			x			x	
122	G			x			2		x			x	x
123	G			x		6	2		x			x	x
124	G			x		6	2		x			x	

4.2 NIATE-CCEN/CTG

O Niate-CCEN/CTG faz parte do grupo de três núcleos integrados de atividade de ensino que foram construídos entre os anos de 2012 e 2013. A edificação foi construída com o intuito de desafogar o CTG e o CCEN (Centro de Ciências Exatas e da Natureza), oferecendo uma estrutura física moderna e confortável com recursos audiovisuais.

Está localizado na Cidade Universitária, na Avenida da Arquitetura, no bairro da Várzea. Assim como descrito para o CTG, também sofre influência dos ruídos gerados pelas

aeronaves que operam no Aeroporto Internacional do Recife. A Figura 20 apresenta a localização do Niate-CCEN/CTG em relação ao CTG e à BR-101.

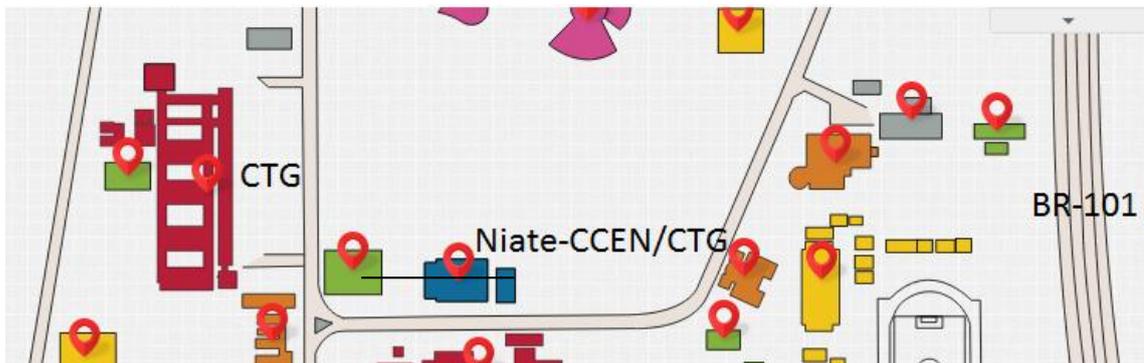


Figura 20 - Localização do CTG em relação ao Niate-CCEN/CTG e à BR-101.

Fonte: www.estudante.ufpe.br/mobilidade-urbana/mapas/

Por ser uma construção recente, pode-se observar um padrão nas salas de aula do Niate tanto em termos geométricos como mobília e ventilação mecânica. Nenhuma sala apresentava ventilador e todas apresentam dois aparelhos de ar-condicionado da mesma marca e potência localizados na parte da frente ou no fundo da sala. Embora a construção seja recente e, conseqüentemente, os aparelhos de ar-condicionado também, alguns apresentaram defeitos e a sala não pode ser ensaiada com a condição de ventilação mecânica.

O Niate teve um total de 12 salas ensaiadas sendo: seis salas de aula (duas no primeiro pavimento e quatro no segundo pavimento) e seis laboratórios de física (todos no primeiro pavimento). As figuras 21 e 22 apresentam a sala de aula e o laboratório do primeiro de segundo pavimento, respectivamente. Todas as salas seguem o mesmo padrão arquitetônico assim como os laboratórios. Tanto laboratórios quanto salas, possuem o mesmo pé direito de 2,85 m e áreas de 69,47 e 70,66m² respectivamente. Os laboratórios apresentam um volume um pouco menor devido ao tipo de porta, como observado nas figuras 21 e 22.

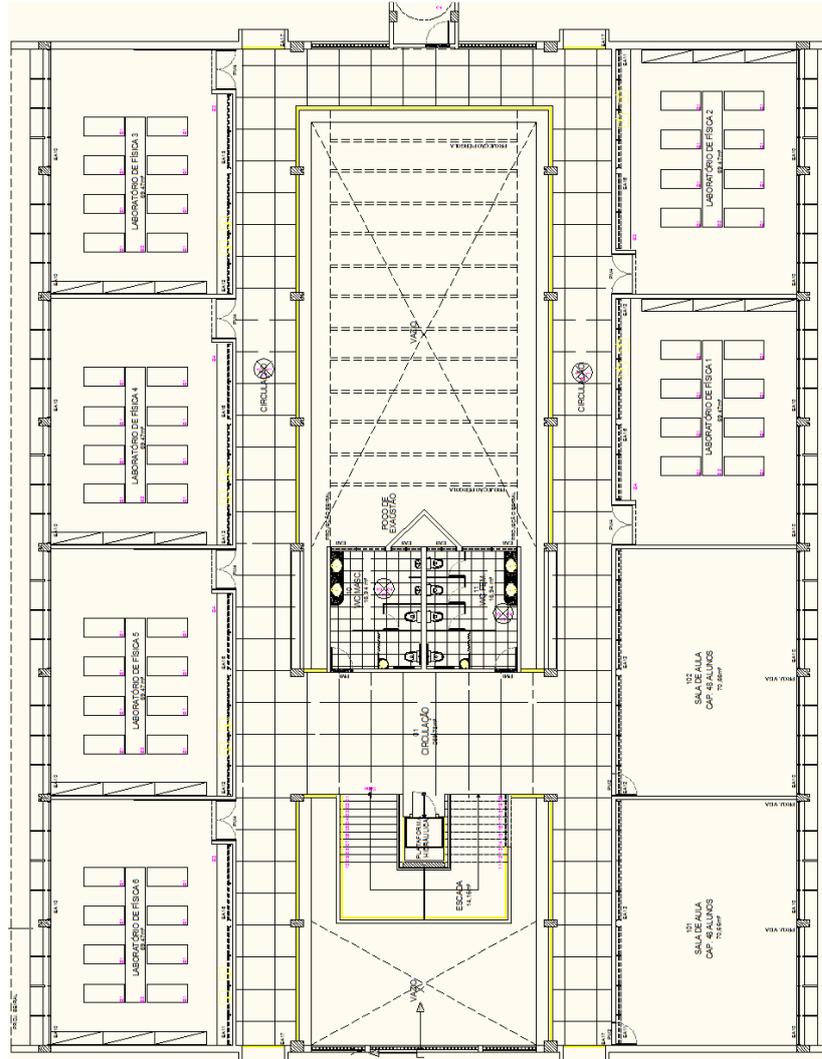


Figura 21- Primeiro pavimento (de cima para baixo, lado esquerdo, L6, L5, L4, L3 e de cima para baixo, lado direito, L2, L1, 102 e 101) -Niate

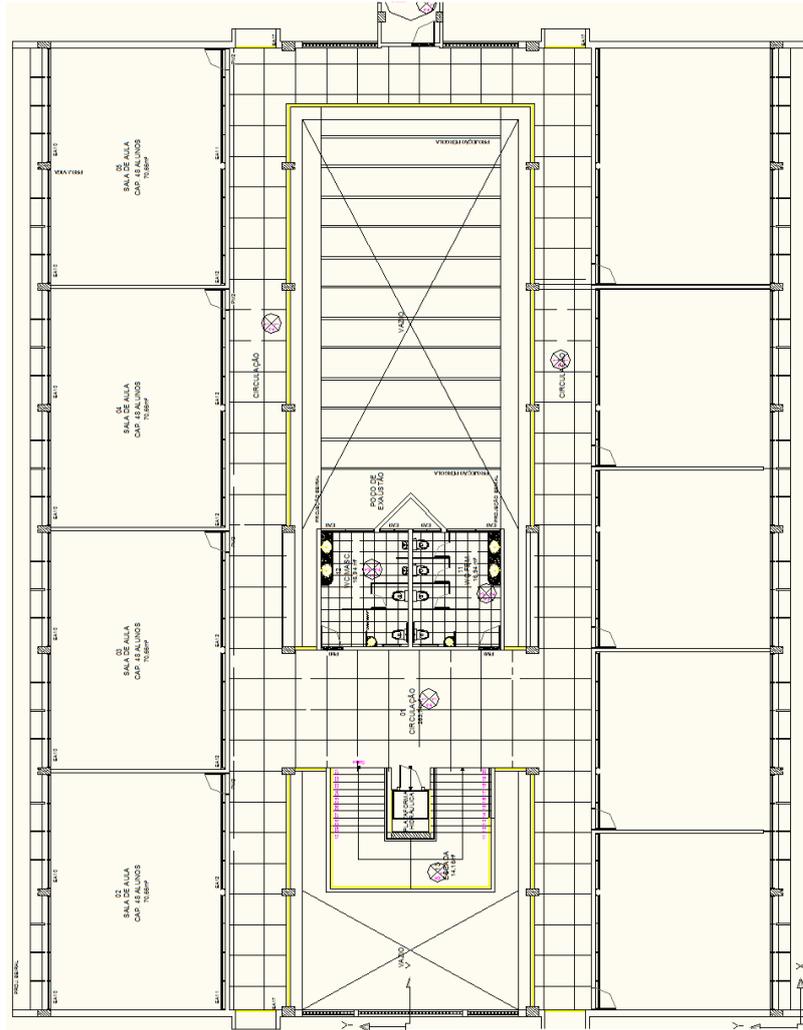


Figura 22-Segundo pavimento (de baixo para cima, lado esquerdo, salas 206, 207, 208, 209)-Niate.

Ainda nas figuras 21 e 22, as salas localizadas no lado esquerdo da imagem estão voltadas para a pista de acesso local e as da direita estão voltadas para estacionamento do prédio. Na figura 23 pode-se ter uma visão melhor da localização das salas, por exemplo, as salas que estão do lado esquerdo nas plantas das figuras 21 e 22, estão voltadas para a pista de acesso na figura 23 e indicadas na vista superior do prédio.



Figura 23- Vista de satélite do CTG e Niate. Niate com marcação na cor preta. Na metade esquerda, está voltada para o tráfego local e na direita para o estacionamento do prédio.

As salas possuem paredes revestidas com reboco liso e pintura assim como o teto e piso de estuque. As janelas laterais seguem o mesmo padrão, sendo de correr em vidro com esquadrias de alumínio e dimensões de 1,10 m x 1,10m, num total de oito janelas para cada sala que, quando abertas, oferece área de 4,84m² para o exterior. A figura 24, lado esquerdo, apresenta as janelas de uma sala de aula Niate. Da mesma forma, as janelas superiores seguem o mesmo padrão: são de vidro com esquadrias de alumínio, tipo pivotante, dimensões de 0,4 m x 1,1 m quando abertas, oferecem área de 3,52m² para a de circulação do prédio. As figuras 24 e 25 apresentam as janelas e paredes das salas. Tanto janelas como paredes e teto, segundo a tabela 9 de classificação de absorção acústica, estão classificados como um tipo de revestimento denso que possui baixo índice de absorção, o que indica que praticamente todo o som será refletido ao incidir nessas superfícies.



Figura 24- Sala e laboratório Niate respectivamente com destaque para janelas.



Figura 25- Laboratório e sala Niate, respectivamente com destaque para janelas superiores pivotantes.

Nos laboratórios, o piso e janelas seguem o mesmo padrão das salas, Todavia, a parede que contém a porta possui revestimento em cerâmica até a altura de 2,35m, conforme figura 25 lado esquerdo acima e na figura 26 abaixo.



Figura 26- Laboratório Niate com destaque para parede com revestimento cerâmico.

Conforme, nas figuras 24, 25 e 27 as salas de aula possuem cadeiras de plástico duro com mesa conjugada revestida de fórmica branca, enquanto os laboratórios possuem cadeiras estofadas cobertas com couro sintético e mesa de 0,6 m x 1,5m. Nos laboratório a capacidade é para 16 alunos enquanto nas salas há capacidade para 48 alunos.



Figura 27- Cadeiras presentes nas salas do Niate e mesas presentes nos laboratórios.

A tabela 12 apresenta de forma resumida as salas do Niate ensaiadas.

Tabela 12-Salas e laboratórios ensaios no Niate.

SALA	VOLUME	CADEIRA	CAPACIDADE
101	201,38	PLÁSTICO	48
102	201,38	PLÁSTICO	48
206	201,38	PLÁSTICO	48
207	201,38	PLÁSTICO	48
208	201,38	PLÁSTICO	48
209	201,38	PLÁSTICO	48
1	197,99	ACOLCHOADA	8
2	197,99	ACOLCHOADA	8
3	197,99	ACOLCHOADA	8
4	197,99	ACOLCHOADA	8
5	197,99	ACOLCHOADA	8
6	197,99	ACOLCHOADA	8

4.3 CONDIÇÕES DE ENSAIO

Os ensaios foram realizados com as salas mobiliadas, fora de horário de funcionamento e em seis possíveis condições de operação para o CTG e em três condições para o Niate (1, 2 e 6):

- 1- Janelas fechadas e equipamentos de ventilação desligados;

- 2- Janelas fechadas e ar-condicionado ligado;
- 3- Janelas fechadas e ventiladores ligados;
- 4- Janelas fechadas e ventiladores e ar-condicionado ligados;
- 5- Janelas abertas e ventiladores ligados e;
- 6- Janelas abertas e equipamentos de ventilação desligados.

Em todos os ensaios, a fonte sonora (PF) foi posicionada no local usual do professor no momento da aula: a 1,5 m de distância da parede onde fica a lousa a uma altura de 1,60 m do piso, para melhor representar a boca de uma pessoa adulta de pé.

Os pontos de recepção (PM) (posicionamento dos microfones) foram definidos com base na localização usual dos alunos no momento da aula, de forma a abranger todo o campo sonoro da sala e a uma altura de 1,20 do chão, considerando a altura do ouvido de uma pessoa sentada.

As figuras 27, 28 e 29 representam o posicionamento da fonte (PF) e dos pontos de recepção (PM) no CTG e as figuras 30 e 31 para o Niate.

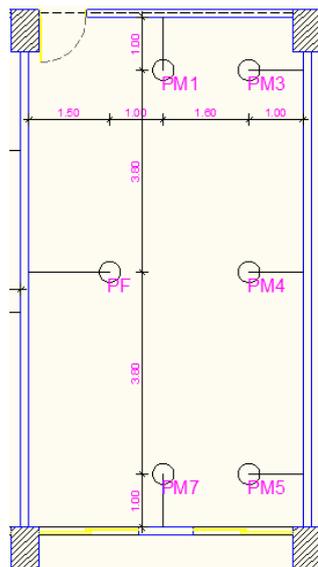


Figura 27- Posicionamento da fonte e receptores, sala pequena disposição 01, CTG.

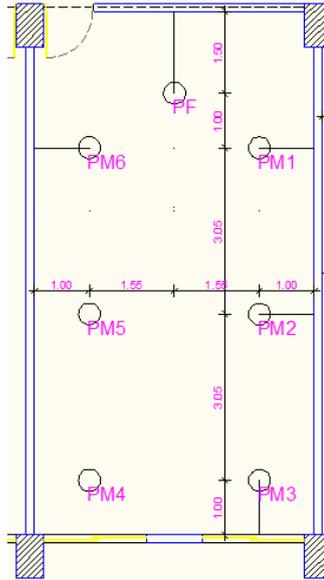


Figura 28-posicionamento de fonte e receptores, sala pequena disposição 02, CTG.

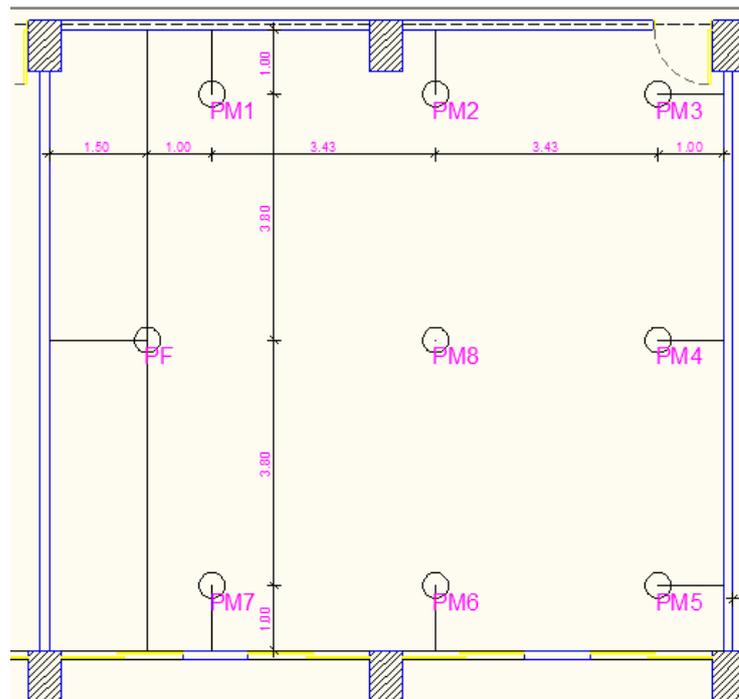


Figura 29-Posicionamento de fonte e receptores, sala grande, CTG.

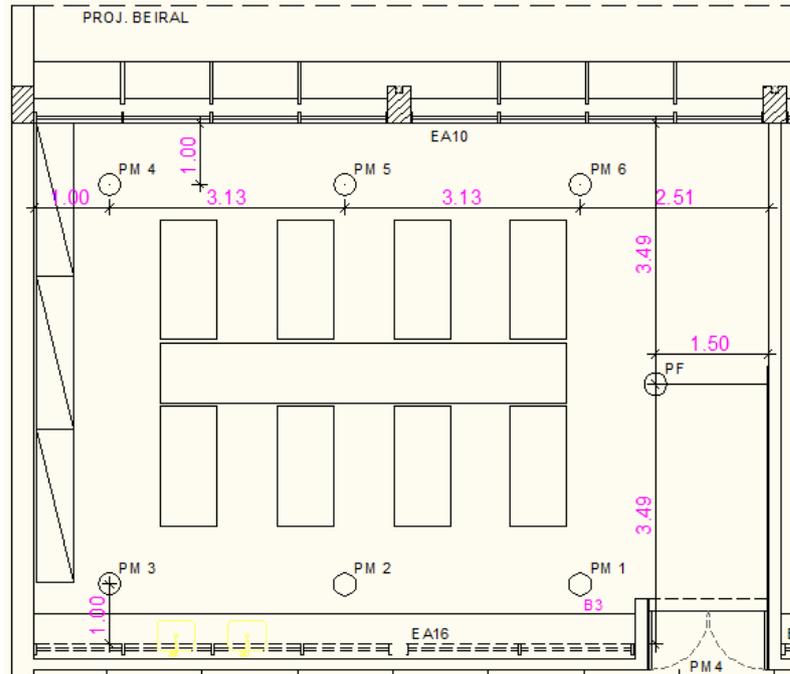


Figura 30- Padrão de distribuição de pontos de medição e fonte em um laboratório-Niate.

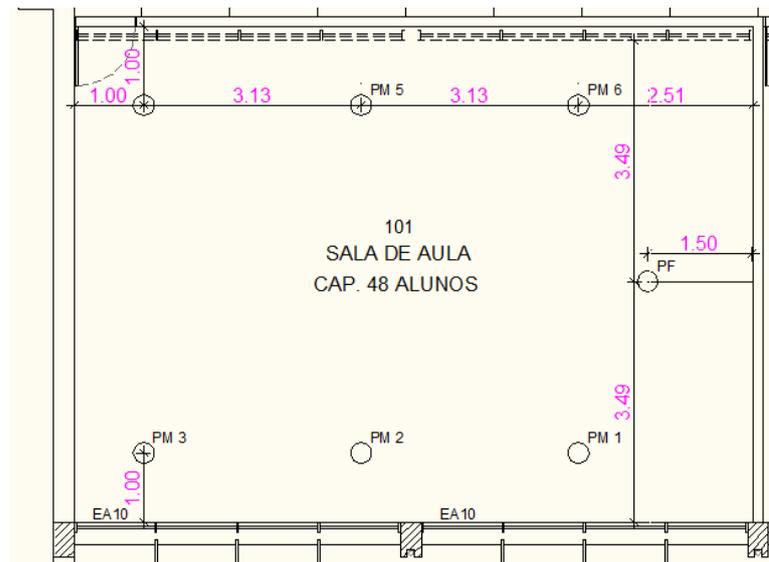


Figura 31- Padrão de distribuição de pontos de medição e fonte em uma sala de aula do Niate.

Os parâmetros acústicos analisados (TR, EDT, D50, SNR, STI, % Alcons) foram obtidos através da técnica da resposta impulsiva da sala através do método de Sequência de Comprimento máximo- MLS (Maximum Length Sequence), menos intrusivo do que um sinal de varredura eletrônica (B&K, 2005) utilizando-se o programa para avaliação de acústica de

salas, o DIRAC® 6, da Brüel & Kjaer. O sistema de medição é constituído basicamente de três equipamentos: uma fonte sonora direcional (B&K Type 4720 Echo Speech Source), para excitar o ambiente, um microfone (receptor) omnidirecional acoplado ao medidor de pressão sonora para captação do som emitido e um microcomputador, onde está instalado o software DIRAC® 6, com placa digitalizadora de som, a qual faz a conversão do sinal analógico-digital (e vice-versa), para realizar o processamento dos sinais. A figura 32 apresenta um sistema de medição montado em uma sala e na figura 33, os equipamentos utilizados.

Em combinação com o DIRAC® 6, a Echo Speech Source executa rápida e facilmente medições de inteligibilidade de fala de acordo com a IEC 60268-16. A fonte gera um sinal sonoro padrão MSL que é captado pelo microfone e enviado para o programa DIRAC® 6 através da placa de som. O programa calcula a resposta impulsiva da sala e os parâmetros acústicos.

Com a fonte calibrada, não há necessidade de equalizadores externos ou ajuste de nível de voz. O sinal pode ser configurado em um nível elevado, possibilitando medições STI (índice de transmissão de fala), mesmo que o ruído de fundo seja significativo. O DIRAC 6 reconhece o nível de saída e corrige os cálculos adequadamente. As medidas foram realizadas em mais de três pontos diferentes, seguindo as recomendações a NBR-10152 (ABNT, 1987).



Figura 32-Sistema de medição com microfone (receptor), fonte sonora e computador com software Dirac.

Para a medição de cada ponto, levou-se uma média de 10min. Os pontos eram medidos um a um e o resultado final apresentado foi uma média dos dados dos pontos.

Com um sonômetro da B&K Analiser 2270, o LAeq foi medido para um tempo de 30s, programado no próprio sonômetro, que realiza as medida do nível pressão sonora em função da frequência, medida em dB, e nível de pressão sonora equivalente medido em dB(A). Ambas as medidas avaliam o ruído de fundo da sala de aula. Com os ensaios sendo realizados fora do horário de funcionamento, o som captado era o residual, basicamente de elementos da natureza.



Figura 33- Fonte sonora Echo Speech4720, Microfone Omnidirecional e Analisador 2270 Bruel&kjaer.

5 RESULTADOS

5.1 NIATE CCEN/CTG

As salas e laboratórios do Niate foram ensaiados em 3 diferentes condições.

- 1- Janelas fechadas e equipamentos de ventilação mecânica desligados;
- 2- Janelas abertas e equipamentos de ventilação mecânica ligados e;
- 6- Janelas abertas e equipamentos de ventilação mecânica desligados.

Os resultados são apresentados nas tabelas 13, 14, 15 para TR (s), EDT (s), D50, SNR, LAeq dB(A), STI (female), %ALC (female), STI (male), %ALC (male) para as três diferentes condições descritas acima respectivamente.

Tabela 13- Resultados dos ensaios das salas do Niate para a condição de operação 01.

CONDIÇÃO 01									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
205	1,62	1,61	0,58	35,44	39,82	0,39	20,25	0,37	23,36
206	1,61	1,60	0,59	44,94	39,42	0,4	19,96	0,37	23,00
208	1,56	1,60	0,59	43,78	39,05	0,39	20,63	0,36	23,80
209	1,61	1,62	0,58	42,89	40,18	0,39	20,10	0,37	23,21
101	1,62	1,61	0,58	44,56	40,13	0,39	20,14	0,37	23,23
102	1,6	1,62	0,57	44,94	41,53	0,39	20,77	0,36	23,93
L1	1,57	1,50	0,60	32,94	44,22	0,39	21,40	0,36	25,07
L2	1,56	1,49	0,60	38,67	42,02	0,40	19,80	0,37	23,84
L3	1,57	1,49	0,61	37,28	42,98	0,41	19,03	0,37	22,99
L4	1,58	1,47	0,60	37,72	42,48	0,40	19,32	0,37	23,33
L5	1,59	1,49	0,60	42,56	40,77	0,40	19,14	0,37	23,14
L6	1,57	1,50	0,60	41,22	42,48	0,40	19,67	0,37	23,57

Tabela 14- Resultados dos ensaios das salas do Niate para a condição de operação 02.

CONDIÇÃO 02									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
205									
206	1,61	1,60	0,57	16,39	61,33	0,38	21,56	0,36	24,58
208	1,68	1,61	0,56	16,28	61,67	0,39	20,94	0,36	23,98
209	1,65	1,60	0,56	17,22	60,13	0,38	21,37	0,36	24,49
101	1,62	1,61	0,57	16,56	53,72	0,39	20,83	0,36	23,85
102	1,63	1,61	0,57	16,39	61,18	0,39	20,76	0,36	23,76
L1	1,71	1,63	0,55	22,50	48,53	0,38	21,52	0,35	25,27
L2	1,49	1,45	0,62	11,83	61,17	0,39	20,83	0,36	24,41
L3									
L4	1,67	1,64	0,54	20,56	52,97	0,38	22,09	0,35	25,86
L5	1,71	1,67	0,54	20,5	52,15	0,38	21,70	0,35	25,43
L6	1,56	1,47	0,62	11,5	61,42	0,39	21,08	0,36	24,64

Tabela 15-Resultados dos ensaios das salas do Niate para a condição de operação 06.

CONDIÇÃO 06									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
205	1,20	1,18	0,68	28,89	51,10	0,44	15,94	0,41	18,64
206	1,23	1,19	0,67	26,00	47,98	0,44	15,95	0,41	18,69
208	1,22	1,17	0,67	27,78	47,53	0,43	16,42	0,40	19,23
209	1,22	1,18	0,67	27,94	55,98	0,44	16,12	0,41	18,95
101	1,21	1,18	0,67	27,61	50,10	0,44	16,17	0,41	19,00
102	1,20	1,17	0,67	26,50	50,27	0,43	16,16	0,41	18,98
L1	1,49	1,20	0,69	24,06	56,95	0,44	15,63	0,41	19,03
L2	1,18	1,18	0,70	30,50	47,80	0,44	16,18	0,40	19,66
L3	1,17	1,20	0,69	28,06	47,25	0,44	16,19	0,40	19,70
L4	1,18	1,19	0,69	27,89	57,22	0,44	16,05	0,40	19,52
L5	1,17	1,19	0,70	27,89	57,10	0,44	16,25	0,40	19,78
L6	1,19	1,21	0,70	28,28	48,73	0,43	16,24	0,40	19,68

Buscando uma forma de melhor visualizar os resultados obtidos nos ensaios, na condição de operação 01, por ter menos influência do meio externo, foram traçados gráficos para cada parâmetro em função das salas e, como forma de resumir os valores obtidos na distribuição,

buscando comparar salas com laboratórios e considerando que não há presença de valores extremos muito destoantes dos demais dados das mesmas condições e ambiente considerado, foram calculadas médias aritméticas de resultados para salas, laboratórios e média aritmética geral para cada condição de operação ensaiada, conforme tabela 16.

Tabela 16- Tabela de média aritméticas de resultados para cada condição e cada parâmetro.

CONDIÇÃO 01	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI (F)	% ALC	STI (M)	% ALC
SALAS	1,60	1,61	0,58	42,76	40,02	0,39	20,31	0,37	23,42
LABORATÓRIOS	1,57	1,49	0,60	38,40	42,49	0,40	19,73	0,37	23,66
GERAL	1,59	1,55	0,59	40,58	41,26	0,40	20,02	0,37	23,54
CONDIÇÃO 02	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI (F)	% ALC	STI (M)	% ALC
SALAS	1,64	1,61	0,57	16,57	59,61	0,39	21,09	0,36	24,13
LABORATÓRIOS	1,63	1,57	0,57	17,38	55,25	0,38	21,44	0,35	25,12
GERAL	1,63	1,59	0,57	16,97	57,43	0,39	21,27	0,36	25,12
CONDIÇÃO 06	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	LAeq dB(A)	STI (F)	% ALC	STI (M)	% ALC
SALAS	1,21	1,18	0,67	27,45	50,49	0,44	16,13	0,41	18,92
LABORATÓRIOS	1,23	1,19	0,70	27,78	52,51	0,44	16,09	0,40	19,56
GERAL	1,22	1,19	0,68	27,62	51,50	0,44	16,11	0,41	19,24

5.1.1 Tempo de reverberação/tempo de decaimento inicial

Conforme se pode observar na figura 35, o TR apresentou pequena variação entre salas e laboratórios com valor mínimo de 1,56s e máximo de 1,62s para a condição de operação 01. Pelo gráfico, observa-se a predominância dos Laboratórios com os menores tempos, o que pode estar ligado à mobília que apresenta cadeiras acolchoadas, aumentando a absorção sonora no local.

Ao avaliar os resultados tabelados para TR nas três condições nas tabelas 13, 14 e 15, observa-se que da condição 01 para a condição 02 houve um aumento de TR em quase todas as salas. A sala 206 permaneceu com o mesmo valor de 1,61s e os laboratórios L2 e L6 tiveram os valores de TR diminuídos de 1,56s para 1,49s e 1,57s para 1,56s, respectivamente.

Na condição 06, os valores obtidos foram os menores das três condições, apresentando, para todas as salas e laboratórios os menores valores. A média geral para as condições 1, 2 e 6 foram, respectivamente: 1,59s, 1,63s e 1,22s conforme tabela 16. A abertura das janelas na condição de operação 06 funciona como uma superfície de 100% de absorção sonora, o que

pode ter feito com que os valores de TR diminuíssem. Outro ponto a ser observado é que os valores de TR para os laboratórios foram menores que os das salas em todas as condições ensaiadas. Isso pode ser devido à presença de mobília acolchoada nos laboratórios e nas salas não.

Na figura 36, observa-se pequena variação entre salas e laboratórios com valor mínimo de 1,47s e máximo de 1,62s para a condição de operação 01. Pelo gráfico, observa-se a predominância dos Laboratórios com os menores tempos.

Ao avaliar os resultados tabelados para EDT nas três condições nas tabelas 13, 14 e 15, observa-se que da condição 01 para a condição 02 houve aumento de EDT nos laboratórios analisados.

Avaliando o gráfico de EDT na figura 36 com o gráfico de TR na figura 35, nota-se que houve maior variação de valores com os laboratórios apresentando melhores resultados e com uma divisão nítida em relação às salas de aula comuns, diferente do que havia se constatado nos resultados do TR. Além disso, os resultados de EDT foram menores que os de TR na maioria dos ensaios, o que pode demonstrar melhor qualidade do ambiente para o discurso. Esses valores menores de EDT podem indicar maior influência da energia sonora inicial em relação à energia reverberante no ambiente, dando uma sensação de que há melhor qualidade acústica da sala. Pelo fato das salas serem relativamente pequenas, a energia nos primeiros milissegundos após emitida será preponderante em relação a reverberação ambiente.

Todavia, os resultados apresentados foram excessivos para a compreensão da palavra o que pode ser constatado pela figura 34 abaixo. Na figura, pode-se perceber que os valores ideais de TR para sala de aula com o volume estudado estão entre 0,6s e 0,8s.

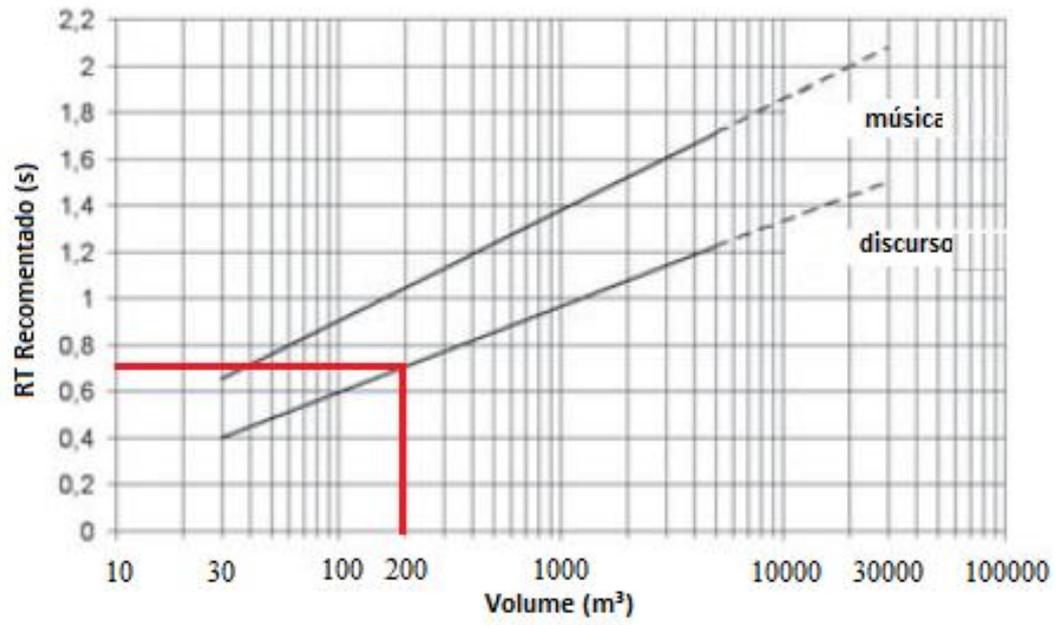


Figura 34- Tempo de Reverberação para sala de 200m³.

Fonte: Adaptado de Ahnert&Tennhart, 2008, p.149.

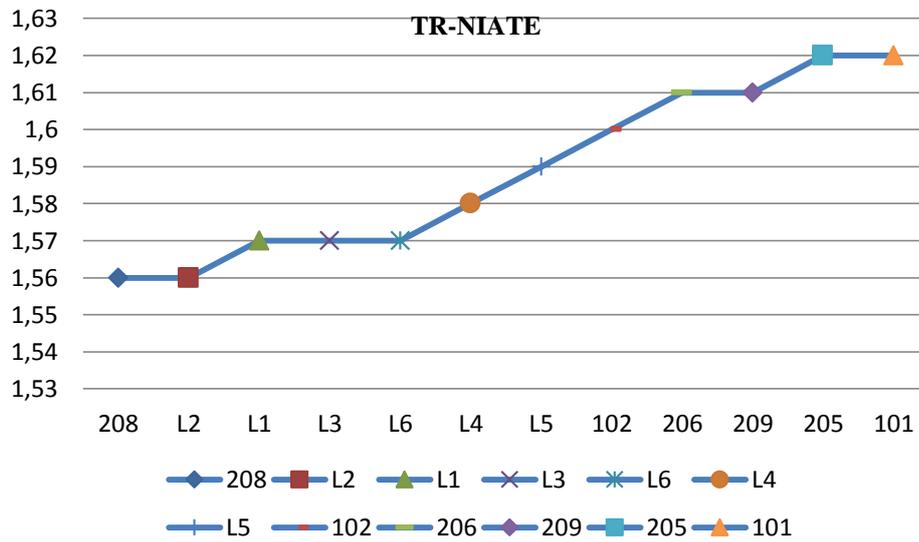


Figura 35- Variação do TR nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

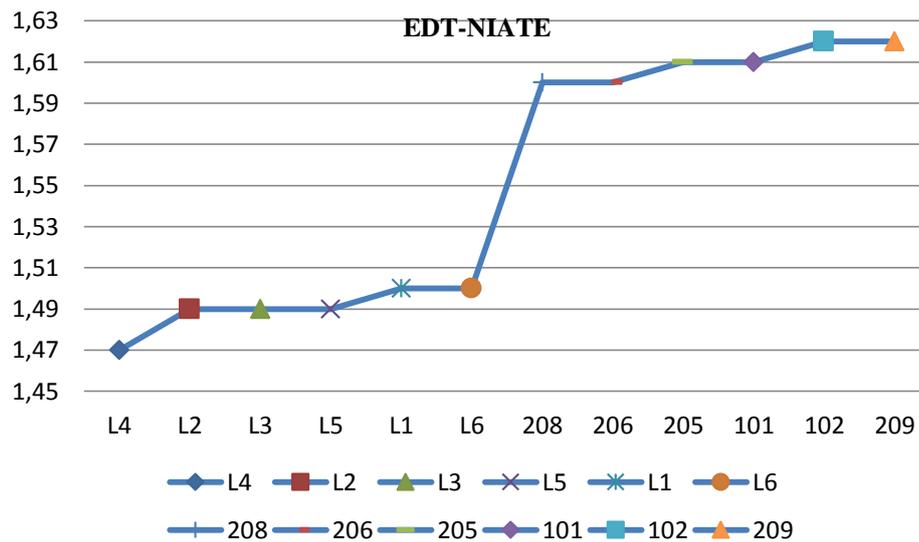


Figura 36- Variação do EDT nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

5.1.2 Relação sinal ruído/ruído de fundo

Os resultados de SNR indicam o quanto o ruído interferiu nos ensaios realizados. Como se pode notar, as salas do segundo andar e as localizadas do lado direito da figura 23 apresentaram menores interferências externas e com isso maiores valores de sinal em relação ao ruído local. Os valores médios de SNR nas condições 01, 02 e 06 foram respectivamente: 40, 17 e 28 dB, tendo como valores mínimos e máximo, respectivamente: 32,94 e 44,94 dB (amplitude dos dados: 12 dB) na condição 01; 11,5 e 22,5 dB (amplitude dos dados: 11 dB) na condição 02 e 24,06 e 30,50 dB na condição 06 (amplitude dos dados: 6,44 dB). Na condição 02 o ruído resultante foi o da ventilação mecânica somada ao ruído externo, que fez com que o sinal fosse atenuado. Avaliando os intervalos de variação dos valores medidos, tem-se variações significativas entre os valores máximos e mínimos, o que pode ser explicado por esse ser um parâmetro dependente do ruído de fundo, que, mesmo com todo cuidado de realizar ensaios fora do horário de funcionamento para minimizar interferências externa, restam características sonoras da fauna e da flora do ambiente que cerca o prédio. Com isso, uma análise de valores médios, conforme calculado na Tabela 16, pode não ser tão representativa.

Analisando a Tabela 13, pode-se notar que, para a Condição 01, um valor mais representativo (mais frequente) de SNR para salas está em torno de 37dB para Laboratórios, em torno de 44DB.

A medição de LAeq traz uma média do ruído avaliado durante período de tempo. Pode-se notar pelas figuras 37 e 38, por exemplo, que a sala que apresentou o menor SNR, apresentou também o maior LAeq. Embora esses ensaios tenham sido realizados no mesmo dia e com uma pequena diferença de tempo, pode-se ter nos resultados uma média do que acontece dentro da sala em termos de sinal/ruído. Todas as salas apresentaram valores de LAeq maiores que 39dB, como se constata nas Tabelas 13, 14 e 15. A média de LAeq nas condições 01, 02 e 06 foram, respectivamente, para salas: 40,02; 59,61 e 50,49 dB(A) e para os laboratórios: 42,49; 55,25 e 52,51 dB(A) todos podem ser observados na tabela 13. Obteve-se, nas medições, valores mínimos e máximo, respectivamente: 39,05 e 44,22 dB (amplitude dos dados: 5,17 dB(A)) na condição 01; 48,53 e 61,67 dB (amplitude dos dados: 13,14 dB(A)) na condição 02 e 47,25 e 57,22 dB na condição 06 (amplitude dos dados: 9,97 dB(A)).

Analisando a Tabela 13, pode-se notar que, para a Condição 01, um valor mais representativo (mais frequente) de LAeq para salas está em torno de 47dB para Laboratórios, em torno de 57 dB(A).

Complementado os resultados de SNR, os valores de LAeq para a condição 02 foram maiores do que nas demais, fazendo com que o sinal fosse mais atenuado nessa condição.

Como era de se esperar, com as janelas fechadas, a influência externa é amenizada e faz com sala tenha menor ruído de fundo. Entre o ruído externo e o ruído da ventilação mecânica, nota-se que a ventilação foi superior em todas as salas e quase todos os laboratórios, ficando a condição 02 com menor LAeq para os laboratórios L4 e L5.

Todavia, os valores apresentados de LAeq foram superiores aos admitidos pela norma brasileira, que são 50dB(A), exceto na condição 01 que, apesar de ter sido ensaiada, não é uma condição real de operação, mas serve para caracterizar a o ambiente.

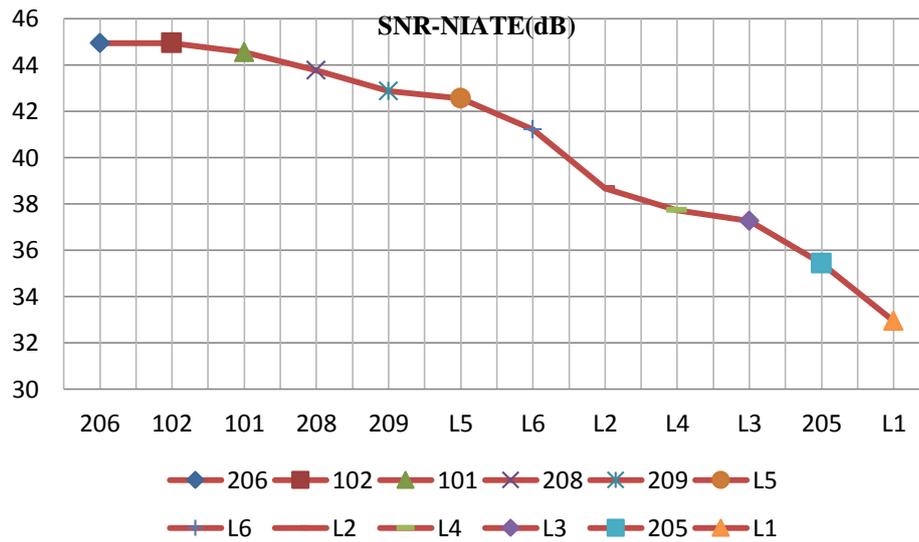


Figura 37- Variação do SNR nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

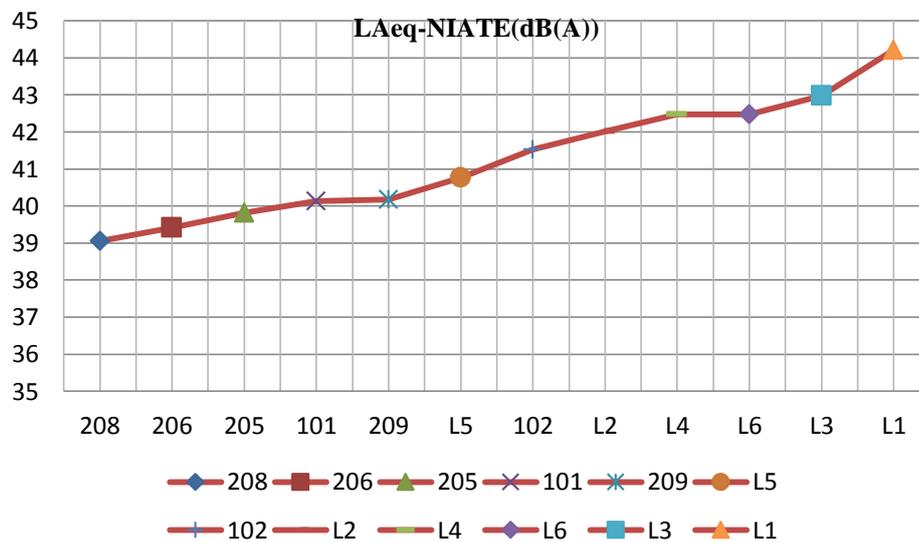


Figura 38- Variação do LAeq nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

5.1.3 Definição 50

Conforme a figura 39, apesar de pouca diferença, os valores de D50 nos laboratórios foram superiores aos das salas comuns, indica que mais de 50% da energia inicial emitida pela fonte chega ao ouvinte nos primeiros 50ms.

Como valores médios para as condições 01, 02 e 06 respectivamente obtiveram-se: 0,59, 0,57 e 0,68. Os três valores são satisfatórios em termos de inteligibilidade, pois estão acima de 0,5.

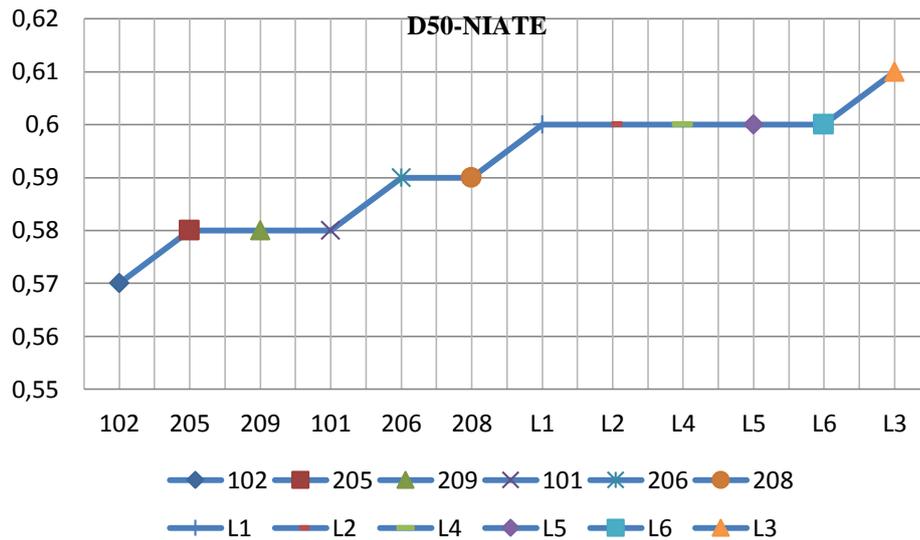


Figura 39- Variação do D50 nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

5.1.4 Índice de transmissibilidade da fala/perda de % na articulação das consoantes

Assim como os demais parâmetros, observa-se nos resultados do STI baixa variação, entretanto, os valores observados estão abaixo dos valores tabelados como bons níveis de inteligibilidade, como se nota na figura 40 abaixo. Da mesma forma, na figura 41, os valores de %AICons trazem resultados que podem indicar que uma pessoa falando em tom normal pode ter grande perda no som das consoantes, pois todos os valores ficaram acima de 19%.

Os resultados médios gerais dos laboratórios e salas foram respectivamente: 0,40; 0,39; 0,44. Maior média de STI (F) de 0,44 para a condição 06 pode estar associada a menores valores de TR apresentados nessa condição.

Conforme a classificação apresentada na tabela 5, retirada da IEC60628-16,2011, as salas possuem inteligibilidade da fala classificada como “pobre”.

Para %AICons, os valores médios foram de 20%, 21% e 16% de perda, que, usando-se a classificação de Ahnert&Tennhardt, 2008, conforme tabela 4, as salas e laboratórios, em termos de %AICons, estão classificadas como ruins. Da mesma forma que STI, os melhores resultados foram obtidos na condição 06, o que pode ser explicado pelo fato de uma menor quantidade de som reverberante, devido às janelas abertas, mascarar menos o som das consoantes na sílaba quando emitidas.

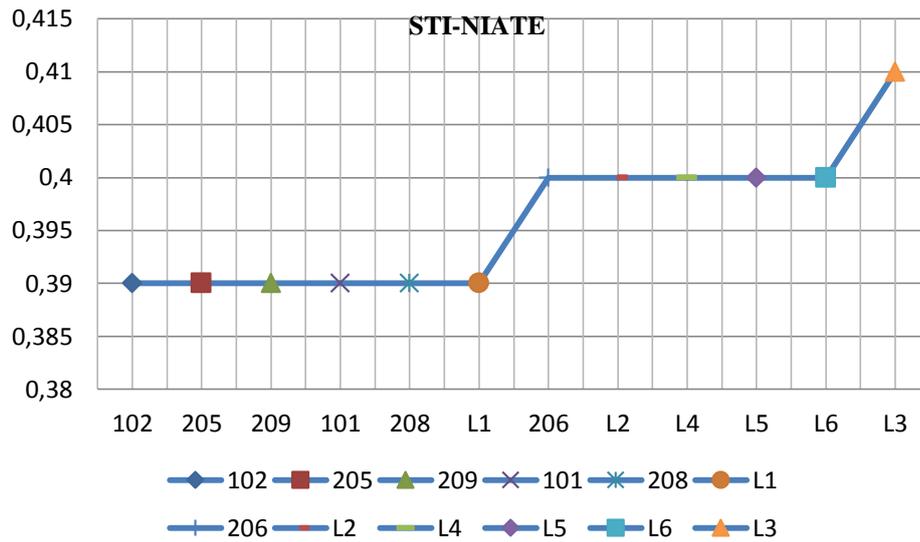


Figura 40- Variação do STI femalenas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

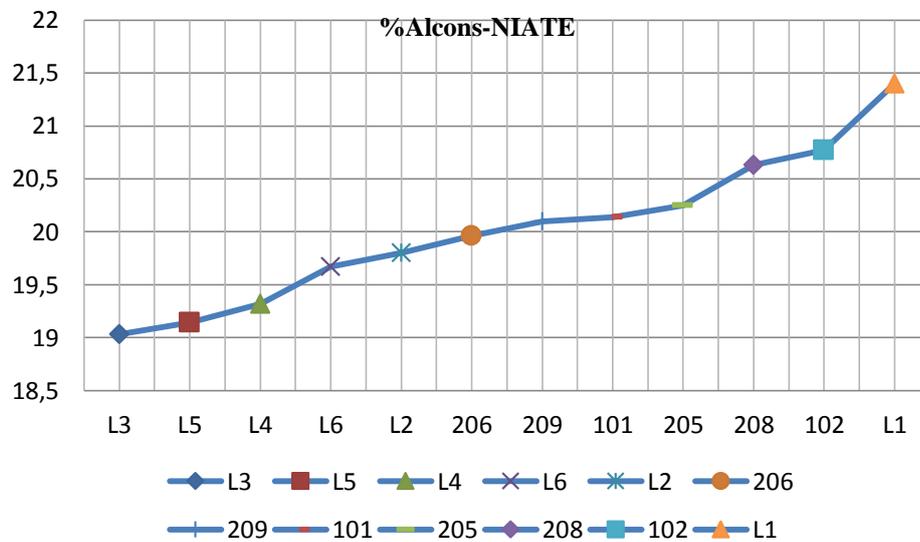


Figura 41- Variação do %ALcons nas salas do Niate (CONDIÇÃO 01).

5.2 CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA-CTG

As salas do CTG foram ensaiadas nas seguintes condições de operação:

- 1- Janelas fechadas e equipamentos de ventilação desligados;
- 2- Janelas fechadas e ar-condicionado ligado;
- 3- Janelas fechadas e ventiladores ligados;
- 4- Janelas fechadas e ventiladores e ar-condicionado ligados;
- 5- Janelas abertas e ventiladores ligados e;
- 6- Janelas abertas e equipamentos de ventilação desligados.

As tabelas 17, 18, 19, 20, 21 e 22 apresentam os resultados obtidos para cada condição operacional descrita, respectivamente. A tabela 23 apresenta valores médios, para cada grupo de salas, obtidos para em condição cada condição operacional.

Tabela 17- Resultados das salas do CTG na condição de operação 01.

CONDIÇÃO 01									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALCons
101	1,71	1,76	0,55	42,27	40,78	0,38	21,43	0,35	25,10
102	1,69	1,78	0,55	36,53	41,10	0,38	21,74	0,35	25,50
107	1,58	1,65	0,52	50,33	40,14	0,38	22,21	0,35	26,00
117	2,42	2,51	0,44	31,27	42,00	0,35	25,68	0,33	28,86
121	2,00	2,08	0,47	29,33	42,45	0,35	24,77	0,33	28,42
106	2,47	2,53	0,43	37,00	41,12	0,34	27,36	0,32	30,95
108	1,68	1,69	0,58	42,17	40,75	0,41	18,72	0,38	22,02
109	2,15	2,15	0,46	35,78	41,13	0,35	25,34	0,33	29,13
114	2,59	2,64	0,44	34,61	42,08	0,34	27,24	0,32	31,14
115	2,58	2,63	0,45	35,06	41,12	0,34	27,51	0,31	31,36
120	1,94	1,93	0,45	30,47	42,18	0,35	25,9	0,32	29,78
103	1,32	1,3	0,72	42,33	40,09	0,45	14,78	0,42	17,79
104	2,46	2,52	0,47	35,08	41,74	0,38	21,26	0,38	22,2
110	2,36	2,34	0,47	37,13	40,84	0,36	24,63	0,33	28,73
111	1,93	1,95	0,61	40,92	40,20	0,42	17,38	0,39	20,51
113	1,92	1,94	0,60	39,71	40,73	0,42	17,54	0,39	20,79
122	2,95	2,96	0,43	36,25	41,58	0,31	30,10	0,29	34,46
123	2,97	3	0,43	36,67	41,56	0,32	30,00	0,30	34,38
124	2,37	2,37	0,47	37,38	41,48	0,36	24,42	0,33	28,52

Tabela 18- Resultados das salas do CTG na condição de operação 02.

CONDIÇÃO 02									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALCons
101	1,72	1,86	0,55	28,73	52,1	0,38	21,38	0,35	25,11
102	1,73	1,87	0,56	28,70	52,1	0,39	20,69	0,36	24,23
107	1,57	1,64	0,53	21,4	51,98	0,37	22,47	0,35	26,16
117	2,4	2,4	0,45	18,27	52,34	0,36	24,82	0,34	27,72
121									
106	2,47	2,54	0,42	28,00	52,10	0,33	28,10	0,31	31,84
108									
109	2,21	2,21	0,46	19,17	51,57	0,35	25,84	0,33	29,63
114	2,6	2,63	0,45	19,17	50,77	0,34	27,66	0,31	31,47
115	2,58	2,66	0,44	19,28	52,1	0,34	27,51	0,31	31,36
120									
103	1,35	1,31	0,71	28,71	50,38	0,44	15,38	0,41	18,62
104									
110	2,32	2,3	0,48	17,21	52,48	0,35	25,36	0,32	29,45
111	1,93	1,96	0,59	24,13	50,78	0,41	18,18	0,38	21,47
113	1,93	1,96	0,59	26,33	52,73	0,41	18,03	0,38	21,32
122	3,03	3,06	0,43	19,46	52,69	0,32	29,94	0,3	34,11
123	2,99	3,07	0,43	19,17	52,7	0,32	30,23	0,3	34,54
124	2,33	2,34	0,47	17,33	52,08	0,35	25,46	0,32	29,52

Tabela 19- Resultados das salas do CTG na condição de operação 03.

CONDIÇÃO 03									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
101									
102									
107	1,55	1,61	0,54	18,67	57,10	0,37	22,84	0,34	26,61
117	2,36	2,33	0,46	13,53	3,00	0,35	25,14	0,33	27,94
121									
106	2,33	2,44	0,43	19,33	56,68	0,33	28,23	0,31	31,93
108									
109	2,08	2,11	0,47	17,33	56,70	0,36	25,26	0,33	29,08
114									
115									
120	1,91	1,91	0,45		57,08	0,34	26,74	0,32	30,53
103									
104									
110	2,18	2,21	0,49	12,33	57,48	0,35	23,63	0,33	29,54
111									
113									
122									
123									
124	2,20	2,24	0,48	12,33	57,26	0,35	25,47	0,32	29,34

Tabela 20- Resultados das salas do CTG na condição de operação 04.

CONDIÇÃO 04									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
101									
102									
107	1,57	1,65	0,54	22,07	57,36	0,37	22,99	0,34	26,59
117	2,34	2,40	0,44	0,00	58,14	0,34	26,35	0,33	29,23
121									
106	2,35	2,41	0,44	21,06	58,00	0,33	29,06	0,30	32,96
108									
109	2,18	2,18	0,46	23,17	57,78	0,35	25,90	0,33	29,65
114									
115									
120				16,60					
103									
104									
110	2,28	2,28	0,48	13,71	60,14	0,35	26,33	0,32	30,16
111									
113									
122									
123									
124	2,26	2,25	0,48	13,63	60,19	0,35	26,15	0,32	30,00

Tabela 21- Resultados das salas do CTG na condição de operação 05.

CONDIÇÃO 05									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
101									
102									
107	1,43	1,48	0,58	33,53	56,60	0,40	19,60	0,37	22,85
117	1,99	1,95	0,52	15,87	56,54	0,37	22,60	0,35	25,68
121									
106	2,05	2,05	0,52	18,67	56,68	0,36	24,35	0,33	28,03
108									
109	1,91	1,88	0,52	22,50	55,95	0,38	21,67	0,35	25,26
114									
115									
120	1,71	1,74	0,50	16,87	56,33	0,36	23,86	0,34	27,33
103									
104									
110	1,97	1,89	0,54	13,00	57,59	0,38	22,51	0,35	26,18
111									
113									
122									
123									
124	1,99	1,90	0,54	13,13	57,98	0,38	22,36	0,35	26,00

Tabela 22- Resultados das salas do CTG na condição de operação 06.

CONDIÇÃO 04									
SALAS	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR (dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
101	1,7	1,76	0,55	41,73	48,94	0,38	21,11	0,36	24,69
102	1,56	1,62	0,58	38,87	48,1	0,4	19,28	0,37	22,74
107	1,42	1,45	0,58	35,53	46,82	0,40	19,90	0,37	23,28
117	2,07	2,02	0,52	31,93	46,36	0,38	21,47	0,36	24,52
121	1,73	1,80	0,50	28,47	48,60	0,37	22,79	0,35	26,28
106	2,07	2,11	0,49	33,50	46,95	0,36	24,47	0,33	28,26
108	1,57	1,56	0,64	40,17	46,60	0,44	16,02	0,41	18,94
109	1,93	1,87	0,51	34,78	47,33	0,38	21,60	0,35	25,23
114	2,20	2,28	0,51	36,61	47,23	0,37	23,19	0,34	26,68
115	2,20	2,26	0,52	36,11	47,23	0,37	23,00	0,34	26,46
120	1,71	1,74	0,50	16,87	46,80	0,37	23,48	0,34	26,93
103	1,24	1,23	0,75	29,79	46,89	0,47	13,57	0,43	16,41
104	2,10	2,18	0,53	26,71	45,86	0,39	20,79	0,36	23,87
110	2,03	1,95	0,53	24,42	47,19	0,39	21,11	0,36	24,94
111	1,67	1,67	0,64	32,21	47,00	0,43	16,74	0,40	20,02
113	1,67	1,67	0,61	31,79	47,36	0,42	17,38	0,39	20,69
122	2,53	2,52	0,50	30,00	47,09	0,36	24,75	0,33	28,61
123	2,52	2,51	0,49	30,38	47,31	0,36	24,86	0,33	28,72
124	2,05	1,97	0,53	25,67	47,08	0,39	20,89	0,36	24,70

Tabela 23- Valores médios dos parâmetros ensaiados para os 3 tipos de salas.

CONDIÇÃO 01	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,88	1,96	0,51	37,95	41,29	0,37	23,17	0,34	26,78
SP DISP 02	2,20	2,24	0,47	34,92	41,55	0,35	25,26	0,33	28,97
SG	2,28	2,30	0,53	38,18	41,03	0,38	22,51	0,35	25,92
CONDIÇÃO 02	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,86	1,94	0,52	24,33	52,13	0,38	22,34	0,35	25,81
SP DISP 02	2,47	2,51	0,97	21,40	51,63	0,34	27,28	0,32	31,08
SG	2,27	2,29	0,53	21,76	51,97	0,37	23,23	0,34	27,00
CONDIÇÃO 03	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,95	1,97	0,50	11,03	30,05	0,36	23,99	0,34	27,28
SP DISP 02	2,11	2,16	0,45	20,27	56,82	0,34	26,74	0,32	30,51
SG	2,19	2,23	0,49	13,67	57,37	0,35	24,55	0,33	29,44
CONDIÇÃO 04	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,96	2,02	0,49	16,10	57,75	0,36	24,67	0,34	27,91
SP DISP 02	2,26	2,30	0,45	18,33	57,89	0,34	27,48	0,32	31,31
SG	2,27	2,26	0,48	12,33	60,16	0,35	26,24	0,32	30,08
CONDIÇÃO 05	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,71	1,72	0,55	24,70	56,57	0,39	21,10	0,36	24,27
SP DISP 02	1,89	1,89	0,51	19,34	56,32	0,37	23,29	0,34	26,87
SG	1,98	1,89	0,54	13,06	57,78	0,38	22,44	0,35	26,09
CONDIÇÃO 06	TR (s)	EDT (s)	D50	SNR(dB)	Laeq dB(A)	STI female	% ALC	STI male	% ALC
SP DISP01	1,70	1,73	0,55	35,31	47,76	0,39	20,91	0,36	24,30
SP DISP 02	1,92	1,95	0,53	32,36	47,25	0,38	22,08	0,35	25,54
SG	1,98	1,96	0,57	28,87	46,97	0,40	20,01	0,37	23,50

5.2.1 Tempo de reverberação/tempo de decaimento inicial

Conforme se pode observar na figura 42, o TR apresentou uma variação maior do que observado nas entre salas e laboratórios do Niate. Para as salas pequenas disposição 01, o menor valor observado para tempo de reverberação foi de 1,58s enquanto o maior 2,42s. Nas salas pequenas com disposição 02, o menor e o maior valor foram, respectivamente, 1,68s e 2,59s. Já nas salas grandes, 1,32s e 2,97s foram o menor e o maior valor respectivamente. Essa grande variação pode ser explicada pela falta de padrão na mobília, com menores valores para as salas com mobília estofada encontradas nas salas 101, 102, 103, 111 e 113- e nos tipos

de piso, com menores valores para os pisos de taco de madeira, presentes nas salas 103, 107, 108, 120 e 121.

Observando a tabela 23, que apresenta médias de valores para os três tipos de salas ensaiadas, pode-se observar que as menores salas apresentaram menores valores médios de TR, em relação à média apresentada para as salas grandes, mas que, apesar da sala pequena com disposição 02 apresentar o mesmo volume da sala pequena disposição 01 ($171,36\text{m}^3$), o valor médio de 2,20s se aproximou mais do valor médio das salas grandes de 2,28s, quem tem mais que o dobro do volume ($347,76\text{m}^3$).

A proximidade dos valores de TR das salas pequenas de disposição 02 com as salas grandes pode ser explicada pela distância do ponto onde a fonte sonora fica e as paredes laterais. A proximidade com as paredes laterais pode ter aumentado as reflexões e feito com que elas reverberassem por mais tempo no ambiente, aproximando o valor do TR ao uma sala que tem quase o dobro do seu volume.

Ao avaliar os resultados tabelados para TR nas seis condições nas tabelas 17, 18, 19, 20, 21, 22 ou no gráfico 42, observa-se que abertura de janelas não apresentou uma influência tão grande como no caso do Niate. Isso se deve ao fato da abertura das janelas no CTG apresentar uma área para o exterior menor que a área apresentada pelas janelas do Niate quando abertas. Enquanto em salas pequenas e grandes no CTG as áreas oferecidas para o exterior são de 1m^2 e 2m^2 , respectivamente, no Niate, a abertura das janelas principais de uma sala ou laboratórios oferece uma área de $4,84\text{m}^2$ para o exterior e $3,52\text{m}^2$ para o hall do prédio.

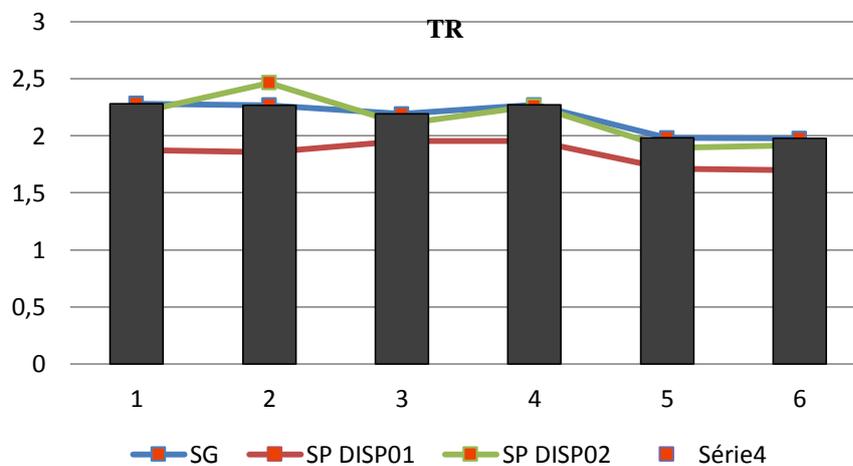


Figura 42-Valores médios de TR para as 6 condições ensaiadas.

Na condição 05 e 06, os valores obtidos para TR foram os menores em relação às condições de operação ensaiadas. A abertura das janelas nas condições de operação 05 e 06 funciona como uma superfície de 100% de absorção sonora, o que fez com que os valores de TR diminuíssem. As salas que apresentavam ventiladores que funcionavam-107, 117, 106, 109, 120, 110, 124-, na condição 05, apresentaram, quase todas, menores valores do que a condição 06, que não possuem equipamento de ventilação mecânica ligado, executando-se a sala 107 com 1,43s na condição 5 e 1,42 na condição 06; a sala 120, que apresentou o mesmo valor de 1,71s para as duas condições e a sala 124 que a apresentou nas condições 05 e 06, respectivamente, 1,99s e 2,05s.

Todavia, os resultados apresentados foram excessivos para a compreensão da palavra o que pode ser constatado pela figura 43 abaixo. Na figura, pode-se perceber que os valores ideais de TR para sala de aula com o volume estudado estão entre 0,7 e 0,8s, bem abaixo dos encontrados nos resultados dos ensaios.

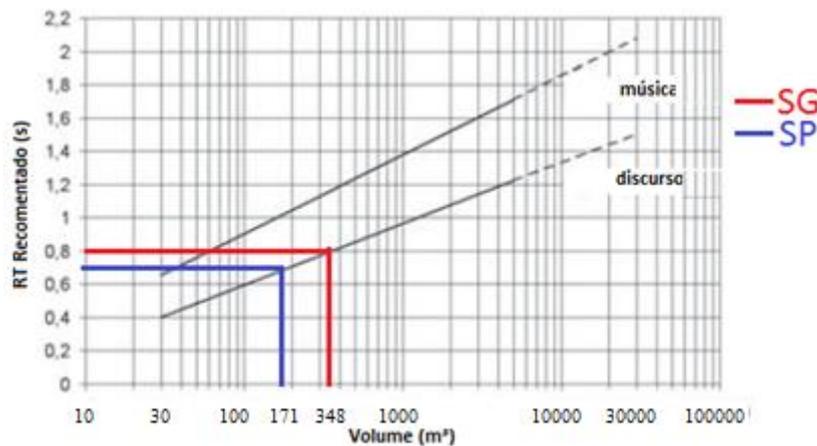


Figura 43- TR por volume para salas pequenas (em azul) e grandes (em vermelho).

Fonte: adaptado de Ahnert&Tennhart, 2008, p.149.

Comparando os gráficos na figura 44 de EDT (b, d, f) com os gráficos de TR (a, c, e), e os valores médios de TR e EDT, apresentados na tabela 23, observa-se que os valores de EDT foram bem próximos dos valores TR, todavia, em quase todos, maiores. Exceto as salas grandes nas condições 04, 05 e 06, que apresentaram os valores médios de EDT de respectivamente 2,26s, 1,89s e 1,96s, menores que os TR, respectivamente 2,27s, 1,98s e 1,98s, e para as salas pequenas disposição 02 na condição 05 que apresentaram o mesmo valor médio para TR e EDT de 1,89s, as demais apresentaram valores próximos, todavia maiores, indicando menor influência da energia sonora inicial em relação à energia reverberante no ambiente, quando sílabas sucessivas são emitidas, dando uma sensação de menor qualidade

acústica da sala, ou seja, energia nos primeiros ms após emitida não será preponderante em relação a reverberação ambiente, diminuindo a qualidade do discurso.

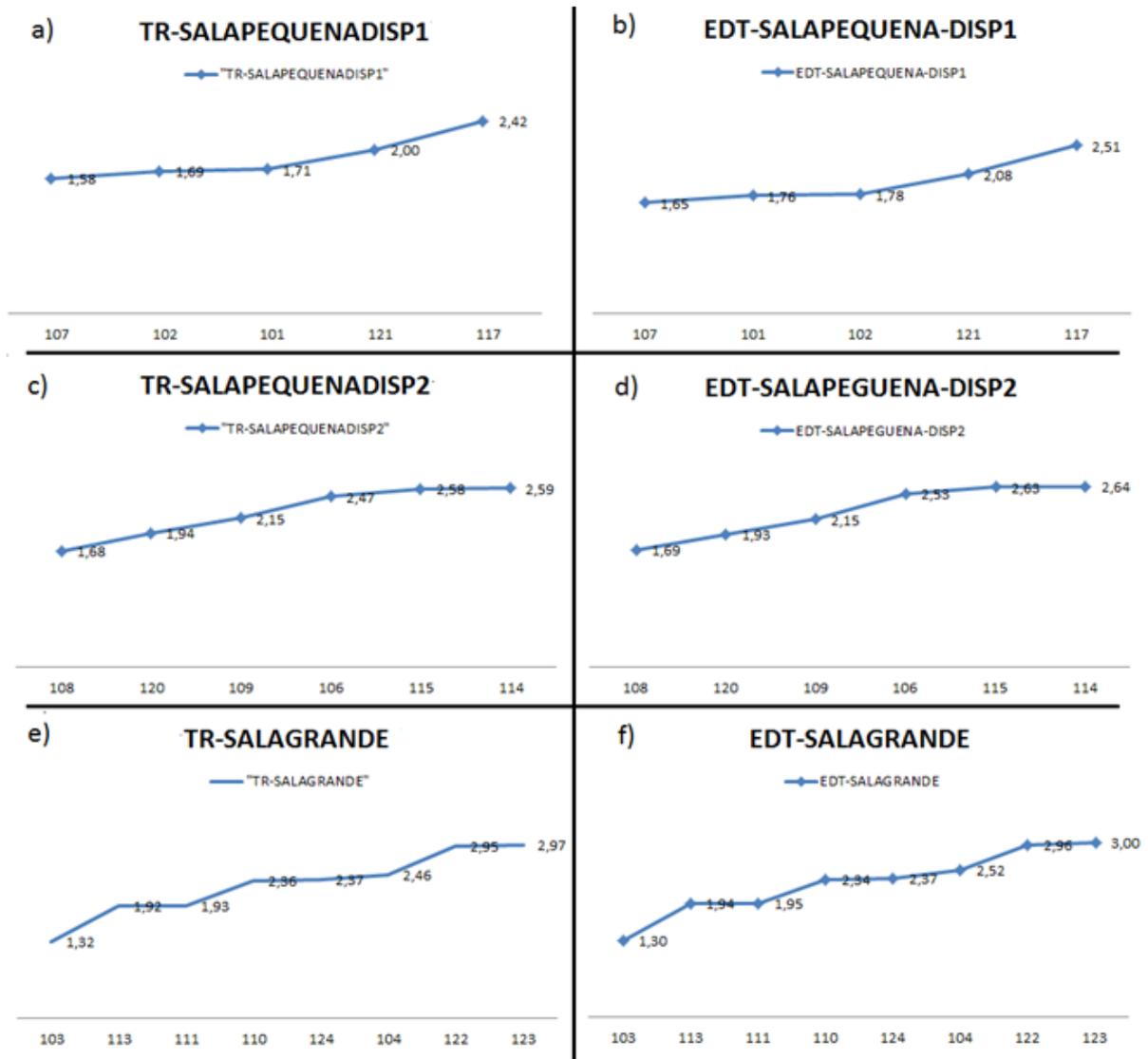


Figura 44-TR e EDT salas CTG.

5.2.2 Relação sinal ruído/ruído de fundo

Os resultados de SNR indicam o quanto o ruído interferiu nos ensaios realizados. Como se pode notar, pelo gráfico da Figura 45 abaixo, que traz valores médios de SNR para as 06 condições ensaiadas dos 03 tipos de salas, a condição 04, que apresenta ventiladores e ar-condicionado ligados apresentou o menor valor de SNR, ou seja, possui maior influência de ruídos do que as outras condições. Ainda no mesmo gráfico, pode-se perceber que, quando as

janelas são abertas na condição 06, os valores de SNR são bem próximos dos valores médios da condição 01, com as janelas fechadas e sem ventilação mecânica. Isso indica que a principal interferência do sinal nessas salas é proveniente dos equipamentos de ventilação presentes nelas, que não seguem um padrão qualitativo e nem quantitativo e muitos estão em más condições de conservação gerando ruído excessivo.

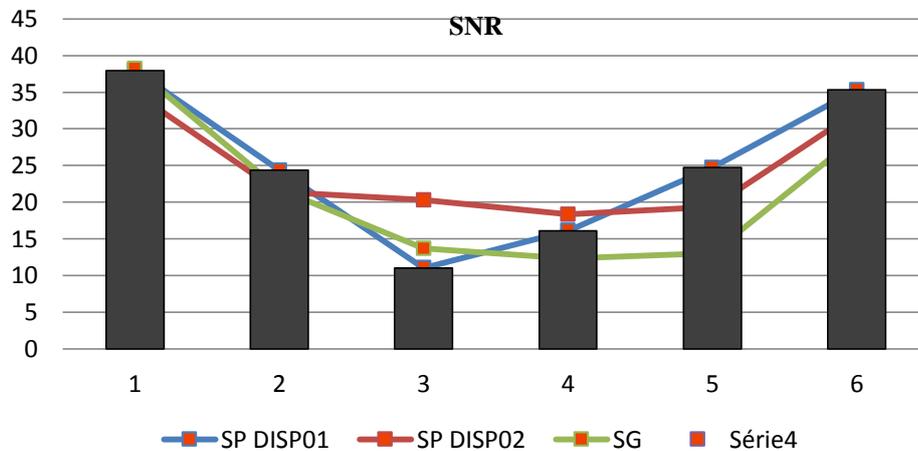


Figura 45-Valores médios de SNR para as seis condições ensaiadas dos 3 diferentes tipos de salas do CTG.

A medição de LAeq traz uma média do ruído avaliado durante 30 segundos. Embora esses ensaios tenham sido realizados no mesmo dia e com uma pequena diferença de tempo, pode-se ter nos resultados uma média do que acontece dentro da sala em termos de sinal/ruído. Todas as salas apresentaram valores de LAeq maiores que 40dB, mesmo fechadas e sem ventilação mecânica, que seria a situação em que se espera ter menos ruído. As médias de LAeq nas condições ensaiadas estão presentes na tabela 23 e figura 46 abaixo. Nela, pode-se observar que para as condições 01 e 06, ou seja, que não possuem ventilação mecânica, os valores médios são menores do que nas demais, enquanto os maiores valores estão na condição 04, que apresenta ventiladores e ares-condicionados ligados simultaneamente. Ainda no gráfico, observa-se que os valores são bem próximos, o que pode ser explicado pela presença de todas as salas no mesmo pavimento e todas direcionadas para o mesmo lado.

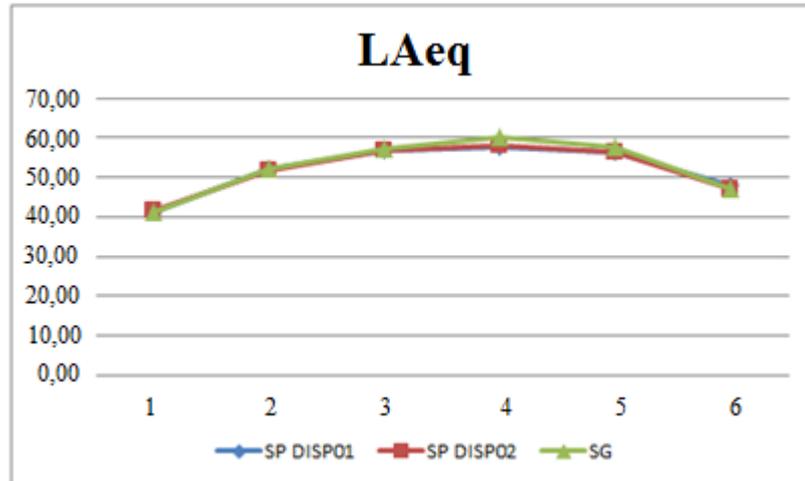


Figura 46- Valores médios de LAeq para as seis condições ensaiadas dos 3 diferentes tipos de salas do CTG.

Com as janelas fechadas, a influência externa é amenizada e faz com sala tenha menor ruído de fundo. Entre o ruído externo e o ruído da ventilação mecânica, nota-se que a ventilação foi superior em todas as salas.

Todavia, os valores apresentados de LAeq foram superiores aos admitidos pela norma brasileira, que são 50dB, exceto na condição 01 que, apesar de ter sido ensaiada, não é uma condição real de operação, mas serve para caracterizar o ambiente e na condição 06, devido a interferência de ventilação mecânica.

5.2.3 Definição 50

Conforme a figura 47, apesar de pouca diferença, os valores de D50 nas salas pequenas disposição 02 foram, em todos os valores médios, menores que os outros dois tipos de salas estudadas (salas pequenas disposição 01 e salas grandes). Os valores médios apresentados para as salas pequenas disposição 02 foram superiores a 50% apenas nas condições 05 e 06, com 0,51 e 0,53 respectivamente. Para as salas pequenas disposição 01, exceto na condição 01, que apresentou valor médio de 49% para D50, todos os demais valores médios foram superiores a 50%. Nas salas grandes, o desempenho médio em quase todas as condições também foi superior a 50%, apenas as condições 03 e 04, com valores médios de 49% e 48%, respectivamente, foram menores que 50%. Com isso, mesmo os valores médios que foram menores que 50%, foram bem próximos, ou seja, são, em termos de inteligibilidade da fala, satisfatórios.

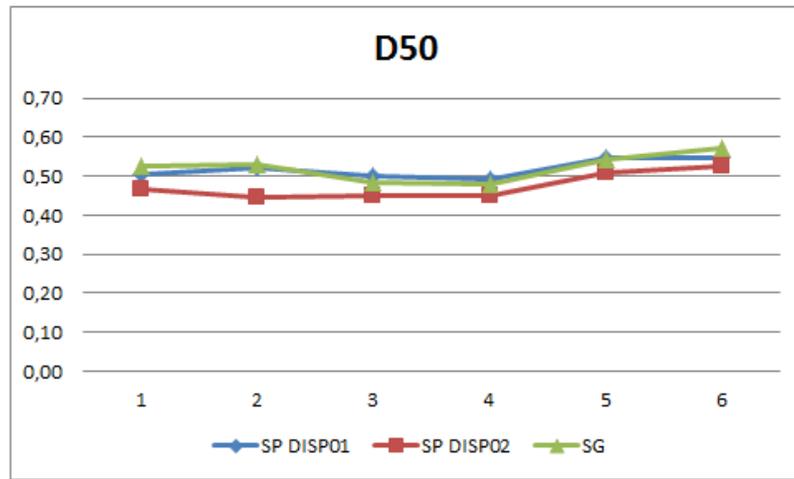


Figura 47-Valores médios de D50 para as seis condições ensaiadas dos três diferentes tipos de salas do CTG.

Avaliando o desempenho das salas pequenas disposição 01, presente na figura 48 parte “a”, que foi traçado para a condição de operação 01, pode-se observar que os melhores resultados estão com as salas 101, 102 e 107, com valores 55%, 55% e 52% respectivamente. Esse fato pode ser explicado pelas características físicas das mesmas, em que as salas 101 e 102 apresentam assentos estofados e a sala 107 piso de tacos de madeira. Esse piso de taco de madeira pode ter sido o motivo para o desempenho da sala 121, que apesar de estar abaixo de 50%, apresentando valor de 47%, ter sido melhor que a sala 117, que apresentou resultado de 44%, ambas as salas abaixo do exigido de 50%.

Na parte “b” da figura 48, tem-se o desempenho das salas pequenas disposição 02 na condição 01. Observa-se que apenas a sala 108 apresentou valor acima de 50% para D50. Isso pode ter ocorrido devido à presença de pisos de tacos de madeira, que embora a sala 120 apresentasse, também não teve o mesmo desempenho, pois, conforme a tabela 24, observa-se nas salas 108 e 109, as que apresentaram melhores resultados de D50, a presença de frestas superiores abertas, o que não foi observado nas demais salas.

Tabela 24- Características salas pequenas disp02.

SALA	PISO		FRESTAS
	TACO	CIMENTADO	ABERTAS
106		x	
108	x		x
109		x	x
114		x	
115		x	
120	x		

Por fim, na parte “c” da figura 48, observa-se bom desempenho das salas 103, 111 e 113. Todas possuem assentos estofados. Além disso, o melhor desempenho da sala 103, com D50 de 72%, bem superior em relação às demais, pode ser explicado pelo fato de também possuir piso de taco.

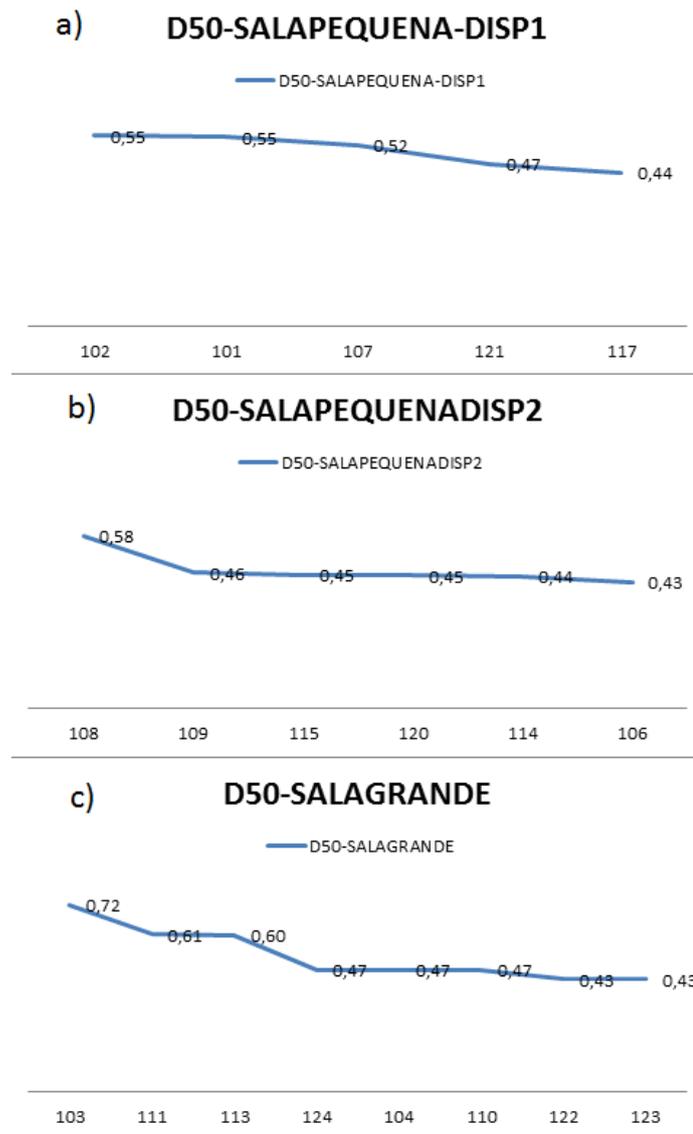


Figura 48- D50 Para salas CTG (CONDIÇÃO 01).

5.2.4 Índice de transmissibilidade da fala/perda de % na articulação das consoantes

Assim como os demais parâmetros, os valores observados de STI e %Alcons estão abaixo dos valores tabelados como bons níveis de inteligibilidade. Os resultados médios estão apresentados na tabela 23.

Na figura 50, os valores de %Alcons trazem resultados que podem indicar que uma pessoa falando em tom normal pode ter grande perda no som das consoantes, pois todos os valores ficaram acima de 19%.

Abaixo, na figura 49 pode-se ver o gráfico que compara valores médios de STI dos três tipos de sala. Todos os valores médios estão abaixo de 0,40, exceto a média 0,40 para sala grande para a condição 06, sala grande, que, apesar do volume maior, apresentou melhor STI. As salas grandes apresentaram melhores médias nas condições 01 e 06, sendo ultrapassadas, em valores médios, pelas salas pequenas de disposição 01 nas demais condições. As salas pequenas disposição 02 ficaram abaixo das demais, em valores médios, em todas as condições.

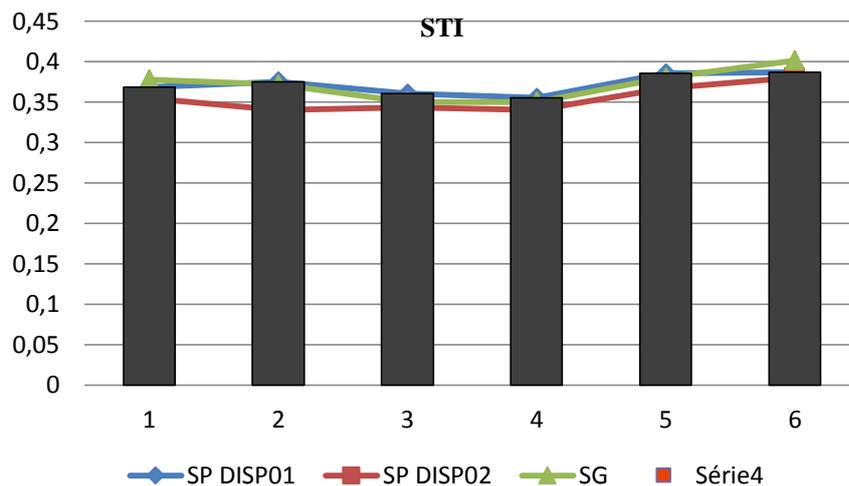


Figura 49- Valores médios de STI para salas pequenas disposição 01, salas pequenas disposição 02 e salas grandes, todos na condição 01.

Conforme a classificação apresentada na tabela 5, retirada da IEC60628-16,2011, as salas possuem inteligibilidade da fala classificada como “pobre”.

Avaliando as salas de forma isolada, por exemplo, na condição 01, os melhores desempenhos observados foram das salas 103, 111 e 113 com valores de 0,45, 0,42 e 0,42 respectivamente. Apesar de serem salas grandes, apresentaram melhores resultados pela presença de cadeiras acolchoadas e, no caso da sala 103, piso de taco. Na condição 06, a sala 103 chega a apresentar o valor de 0,47 que, na classificação retirada da IEC60628-16,2011, apresentada na tabela 5, seria “razoável”.

Para %Alcons, os valores médios foram altos de forma que, usando-se a classificação de Ahnert&Tennhardt, 2008, conforme tabela 4, as salas, em termos de %AlCons, estão classificadas como ruins. Da mesma forma que STI e conforme tabela 22, os melhores resultados foram obtidos na condição 06, o que pode ser explicado pelo fato de uma menor

quantidade de som reverberante, devido às janelas abertas, mascarar menos o som das consoantes na sílaba quando emitidas. Além disso, pela figura 50 abaixo, observa-se que o gráfico de %Alcons é inverso ao STI, em termos de valores, com os valores para sala grande dando menores resultados nas condições 01 e 06 e salas pequenas disposição 01 nas condições 02, 03, 04 e 05. Já as salas pequenas disposição 02, apresentaram os maiores valores médios em todas as condições.

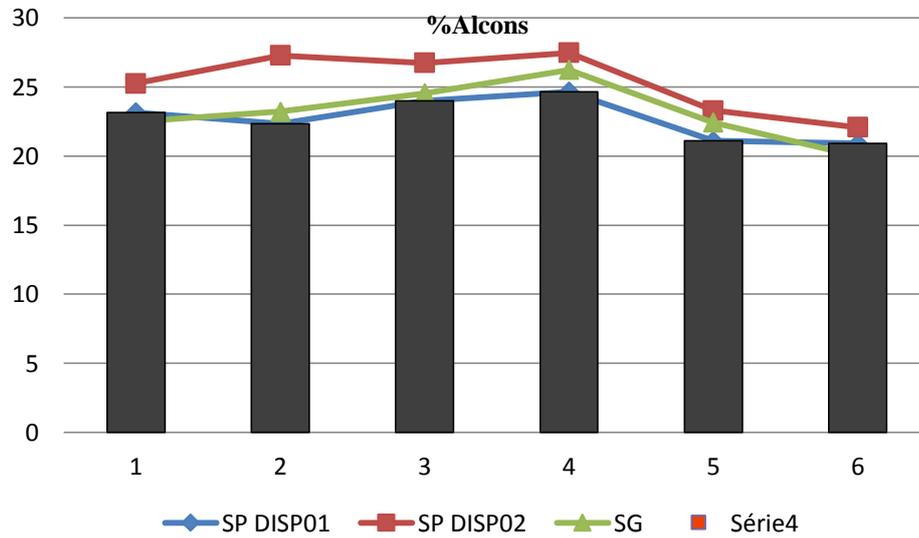


Figura 50-Valores médios de %Alcons para salas pequenas disposição 01, salas pequenas disposição 02 e salas grandes, todos na condição 01.

CONCLUSÃO

Na busca de comparar o desempenho acústico de construções idealizadas para as mesmas finalidades, todavia, em épocas diferentes, escolheu-se o CTG e o Niate para avaliar possíveis mudanças na concepção dos projetos e se foi levado em consideração, nesses projetos, o conforto acústico. Comparando as formas geométricas das salas entre os dois centros, não é possível observar qualquer padrão, isso pode ser fruto da diferença de idade dos dois centros.

Da mesma forma, observando de forma mais ampla toda a UFPE, há construções de diferentes décadas e isso traz consigo a ausência de um padrão entre as salas o que, obrigaria a adoção de diferentes soluções para tratar algum problema acústico nas mesmas. Cada centro iria requerer um estudo individual, trazendo, dessa forma, uma solução sem padrão.

Observando cada centro, estudado, isoladamente, as salas do Niate apresentam padrão de mobília e geometria. Já o CTG apenas o padrão geométrico é seguido. Nenhum dos centros analisados apresentou salas que atendessem às normas brasileiras em relação aos parâmetros analisados, com exceção do D50 que, embora tenha apresentado resultados satisfatórios para as salas estudadas, não pode, isoladamente, classificar se um ambiente possui bom desempenho acústico.

Com análise dos resultados para os parâmetros analisados (TR, EDT, SNR, LAeq, D50, STI, %ALCons) constatou-se que as salas oferecidas hoje não atendem aos parâmetros normatizados, surge a necessidade de pensar no tema para os novos projetos de centros que venham a ser construídos no campus.

Em países tropicais, como o Brasil, prioriza-se o conforto térmico em detrimento do acústico. Entretanto, pode-se observar que os resultados apresentados para o Niate foram melhores que os do CTG em valores médios e, com isso, pode-se afirmar que pode ter havido melhoria do desempenho acústico nas novas construções.

Além disso, analisando sala a sala, principalmente no CTG, os resultados de todos os parâmetros estudados demonstraram que se pode obter uma boa melhoria nas condições acústicas investindo, por exemplo, em mobília, pois, como apresentado, salas grandes apresentaram melhores resultados pelo fato de terem mobília com melhor desempenho acústico, sendo uma solução mais econômica já que periodicamente precisa ser trocada.

Outro ponto que observado foi quanto ao TR, que na maior parte das classificações adotadas mundialmente leva em conta apenas o volume da sala. Nas salas do CTG analisados dois tipos de salas retangulares com mesmo volume. O que difere nas duas salas são as disposições das cadeiras e professores e, conforme os resultados, a disposição 02 chegou a apresentar uma qualidade acústica inferior se comparada com a sala disposição 01 de mesmo volume, ficando inclusive com desempenho pior que o das salas grandes, que possuíam o dobro do volume.

A proximidade dos valores de TR das salas pequenas de disposição 02 com as salas grandes pode ser explicada pela distância do ponto onde a fonte sonora fica e as paredes laterais. A proximidade com as paredes laterais pode ter aumentado às reflexões e feito com que elas reverberassem por mais tempo no ambiente, aproximando o valor do TR ao uma sala que tem quase o dobro do seu volume.

Esses resultados direcionam os próximos projetos para adoção de salas que não possuam o comprimento muito maior que a largura, como observado nas salas de disposição 02. Esse fator fez com que as duas paredes laterais ficassem muito próximas da fonte, gerando mais reflexão, o que pode ter feito o desempenho acústico dessas salas ficar mais próximo de salas com o dobro do seu volume.

Isso traz a possibilidade de projetar salas de aula com volumes maiores sem comprometer a inteligibilidade da fala nas mesmas, algo que pode ser utilizado em projetos futuros.

Para estudos futuros, materiais absorventes podem ser aplicados nas salas na forma de revestimento e forros, para que seja avaliado o custo/benefício dos mesmos. Em termos de sala de aula, seria oportuna a avaliação subjetiva como forma de definir quais faixas de valores e quais parâmetros são confortáveis para os alunos, assim como avaliar em que nível de exigência se encontram as normas nacionais. Além disso, outras instalações podem ser analisadas, como auditórios, aeroportos, estúdios de música, etc.

REFERÊNCIAS

ROSSING, Thomas. D. Introduction to Acoustics. In: ROSSING, Thomas D. (Ed.). **Springer Handbook of Acoustics**. New York: Springer, 2014. Cap. 1, p. 1-7.

LUBMAN D, SUTHERLAND LC. The **Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement**. In: International congress on acoustics ICA, Rome, Italy; 2001.

BRÜEL & KJAER. **Application Note: measuring speech intelligibility using DIRAC-Type 7841**. In: CATÁLOGO TÉCNICO, Brüel & Kjaer Instruments, Chigago, Illinois, USA, 2005. Disponível em: <<http://www.acousticsengineering.com/dirac/files/Bp1974.pdf>> Acesso em: 01 set. 2005.

GEORGE M, YOUSSEF M. **Acoustical Quality Assessment of the Classroom Environment**; 2012.

E. Alton Everrest. **Master Handbook of Acoustic**, 5ª Ed. 2001 p.39.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. **A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil**. *Holos Environment*, v. 6, n. 2, p. 137, 2006. ISSN: 1519- 8421(CD-ROM). ISSN: 1519-8634 (on-line).

GOMES, M. H. de A.; BERTOLI, S. R. **Auralization for classroom acoustics**. In:International congress on sound and vibration, 12th, July- 2005, Lisboa, Portugal. **Proceedings...** Lisboa, 2005. FP 0489, 8p.

BARBOSA, M.; BERTOLLI, S. **Avaliação e proposta de solução para o conforto acústico o núcleo de desenvolvimento infantil (NDI) da UFSC**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2º, Florianópolis SC. 1993. p.295-299.

AMORIM, Adriana Eloá Bento. **formas geométricas e qualidade acústica de salas de aula: estudo de caso em Campinas-SP**. Dissertação de mestrado para Universidade Estadual de Campinas Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, 2007.

HODGSON, Murray.**Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms**. Applied Acoustics, 2003.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta, ZWIRTES, Daniele Petri Zanardo. **Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools**. Applied Acoustic, 2008.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta, MARCON, Carolina Reich. **Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms**. Applied Ergonomics, 2006.

PEDRAZZI, et. al. **Avaliação do Desempenho Acústico em Salas de Aula do CEFET-PR**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. ENCAC São Pedro, SP Novembro 2001.

BROWN, Pat. **Fundamentals of Audio and Acoustics, Handbook for sound engineers, 4ª ed, 2008**.

ZHANG, Peter Xinya. Psychoacoustics, **Handbook for sound engineers**, 4^a ed, 2008.

AHNERT, Wolfgang; TENNHARDT, Hans Peter. **Acoustics for Auditoriums and Concert Halls, Handbook for sound engineers**, 4^a ed, 2008.

MAPP, P.. **Designing for Speech Intelligibility, Handbook for sound engineers**, 4^a ed, 2008.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural acoustics: principles and design**. Columbus: Prentice Hall, 1999. 446p.

TORO, Marlenne Giovanna Uría. **Avaliação acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de belém-pa: uma proposição de projeto acústico**. Dissertação de mestrado do Program de pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2005.

SALA, E.; VILJANEN, V.. **Improvement of Acoustic Conditions for speech Communication in Classrooms**. Applied Acoustic, 1994.

FREDERICK S. Berg, JAMES C. Blair, PEGGY V. Benson. **Classroom Acoustics: The Problem, Impact, and Solution**. Utah State University. Logan, 1996.

BENTLER, R. A. **List equivalency and test-retest reliability of the speech in noise test**. Am. J. Audiol., v. 9, n. 2, p. 84-100, 2000.

CUNHA, Iara Batista. **A influência dos sistemas de reforço sonoro na qualidade acústica de igrejas católicas**. Dissertação de mestrado Universidade Estadual de Campinas, 2014.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://ufsc.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2005.

MARSHALL, L. G. Acoustical Design: Places for Listening. In: CAVANAUGH, William J. TOCCI, Gregory C. WILKES, Joseph A. (editors) **Architectural acoustics: principles and practice**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2010. cap. 4, p. 133-159.

William J. Cavanaugh, Gregory C. Tocci, Joseph A. Wilkes, **Architectural Acoustics: Principles and Practice**, Pag 228, 2^a ed., 2010.

BARRON, Michael. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. Oxon: Spon Press, 2010.

OLIVEIRA, N. F. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. Universidade Estadual de Campinas, 2006.

PRATO, Andrea, CASASSA, Federico, SCHIAVI, Alessandro. **As medições do tempo de reverberação em campo acústico não-difusa pelo tempo de reverberação modal**. Instituto Nacional de Investigação Metrológica - INRIM, 10135 Torino, Itália. Departamento de Electrónica e Telecomunicações, Politecnico di Torino, Torino, Itália 2016.

U. Ayr, E. Cirillo, I. Fato, F. Martellotta. **A new approach to assessing the performance of noise indices in buildings.** Dipartimento di Fisica Tecnica, Politecnico di Bari, via Orabona 4, I-70125 Bari, Italy, 2002.

JONES, Doug. **Acoustical Noise Control, Handbook for sound engineers, 4^a ed, 2008.**

FERNANDES, J. C.. **Padronização das condições acústicas para salas de aula XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.**

MAPP, P.. **Designing for Speech Intelligibility, Handbook for sound engineers, 4^a ed, 2008.**

https://www.ufpe.br/ctg/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=71