

# Influência da Dimensão das Aberturas na Qualidade Acústica de Salas de Aula Naturalmente Ventiladas

Silva, J.T.\*; Oiticica, M.L.G.R<sup>+</sup>

\*Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, jordana\_t@hotmail.com

+ Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, mloiticica@hotmail.com

## Resumo

As condições acústicas das salas de aula podem interferir diretamente no processo de ensino e aprendizagem. Alguns componentes construtivos podem influenciar em tais condições. No clima quente-úmido, as aberturas são utilizadas com a finalidade principal de proporcionar a ventilação natural. Situações de conflito entre as necessidades de conforto ambiental podem ser verificadas quando tais componentes também permitem a entrada dos ruídos externos, ocasionando decréscimo no isolamento sonoro. Além dos aspectos relacionados ao isolamento e à ventilação, torna-se necessária a abordagem da interferência das aberturas na qualidade acústica interna. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da dimensão das aberturas na qualidade acústica de salas de aula naturalmente ventiladas com base na rede pública municipal de ensino de Maceió-AL. A metodologia consistiu em análises paramétricas, com base em resultados dos parâmetros de qualidade acústica: Tempo de Reverberação (TR), Clareza ( $C_{50}$ ), Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), obtidos por meio da simulação computacional. Através dos resultados, observou-se a que o aumento da área de abertura acarreta em melhorias expressivas nos valores dos parâmetros acústicos. O conhecimento sobre o efeito das aberturas na qualidade acústica interna pode auxiliar o projeto arquitetônico no processo de tomada de decisões por parte dos arquitetos.

**Palavras-chave:** Qualidade acústica, simulação computacional, salas de aula, aberturas, janelas.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos ambientes de sala de aula, a comunicação oral corresponde ao principal mecanismo de transmissão do conhecimento, de forma que a aprendizagem está relacionada diretamente à compreensão das palavras e à inteligibilidade da fala. A qualidade acústica de um ambiente depende de alguns aspectos, tais como, a forma geométrica, a absorção acústica dos materiais internos, fontes sonoras, bem como seu entorno e efeitos das aberturas no ambiente (GERGES, 2000). Alguns estudos relacionam a influência das características arquitetônicas do ambiente com os resultados nos parâmetros acústicos, a exemplo de Amorim (2007), com a avaliação dos parâmetros acústicos resultantes das diferentes formas geométricas de salas de aula

padronizadas da rede pública de ensino de Campinas-SP.

Em função da necessidade de atendimento aos requisitos de conforto ambiental no contexto da arquitetura escolar, verifica-se que em regiões de clima tropical, como o Brasil, o conflito entre as recomendações de projeto baseados no conforto são constantes. As aberturas são elementos significativos de tal conflito, pois, se por um lado, há a necessidade da entrada da ventilação natural, a fim de atender às exigências de conforto térmico, por outro lado, observa-se que as aberturas tornam as salas sujeitas ao ruído ambiental, o que consequentemente pode trazer prejuízos à inteligibilidade da fala. As aberturas, geralmente, são apontadas como pontos de maior permeabilidade do som, sendo objeto de estudo em trabalhos

direcionados para a temática do isolamento acústico das edificações.

Com o intuito de minimizar o problema da dicotomia entre os aspectos térmicos e acústicos, vale citar os trabalhos de Araújo (2010) e Oiticica (2010), com o desenvolvimento de componentes arquitetônicos, elemento vazado (cobogó) e peitoril ventilado, respectivamente; que possibilitam simultaneamente a passagem da ventilação natural e isolamento sonoro.

A acústica de salas dedica-se ao estudo de ambientes fechados. No entanto, espaços abertos, com a existência de aberturas, são frequentemente projetados, devido à necessidade da utilização da ventilação natural como estratégia para resfriamento térmico passivo, como é o caso de Maceió-AL, bem como da necessidade em garantir condições acústicas favoráveis ao desenvolvimento das atividades nos ambientes, de acordo com o seu uso. Portanto, torna-se necessária a abordagem da interferência das aberturas na determinação da qualidade acústica no interior dos ambientes.

Diante das recomendações em relação aos vãos de aberturas para ventilação natural, a exemplo da NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), ao sugerir grandes áreas de abertura, implicações além dos aspectos de ventilação natural e isolamento acústico necessitam de estudos, a exemplo do efeito das aberturas do ponto de vista do comportamento sonoro dos ambientes, e conseqüentemente, suas implicações em relação aos parâmetros de qualidade acústica.

A maior parte da literatura (KUTTRUFF, 1979; EGAN, 1988; MEHTA *et al.*, 1999) considera a janela como um perfeito absorvedor acústico, visto que a parcela total do som que incide na abertura é transmitida para o meio externo à edificação. Assim, o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) da abertura corresponde a 1 (um), para todas as frequências, de modo que 100% da energia sonora incidente neste componente é

absorvida, o que conseqüentemente pode favorecer a obtenção de resultados mais baixos do Tempo de Reverberação.

Martellotta (2012) aponta que a absorção sonora através das aberturas tem sido raramente considerada na acústica de salas, verificando-se apenas a existência de estudos relacionados às pequenas aberturas (geralmente com poucos centímetros de largura), com a abordagem da perda de transmissão (*transmission loss*) devido às aberturas (WILSON; SOROKA, 1965; SAUTER; SOROKA, 1970; SGARD *et al.*, 2007), mas nada sobre grandes aberturas.

Em virtude das janelas serem os principais elementos de abertura empregados nos ambientes de salas de aula, o presente estudo baseou-se na variável de dimensão de tais componentes arquitetônicos, por se tratar de um importante aspecto que pode ser decidido pelo arquiteto, e conseqüentemente, pode interferir na qualidade acústica. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da dimensão das aberturas na qualidade acústica de salas de aula naturalmente ventiladas com base na rede pública municipal de ensino de Maceió-AL.

## 2. MÉTODO

O trabalho em questão consiste em uma análise paramétrica da influência da dimensão das aberturas na qualidade acústica de salas de aula, com o auxílio da simulação computacional. O método aplicado foi dividido em três etapas, descritas a seguir.

### 2.1 Levantamento de dados

Foram consultados 56 projetos arquitetônicos disponíveis em arquivos digitais, o que equivale a cerca de 58% do universo de edificações escolares registradas pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP (INEP, 2013). Foram levantados os dados relativos às dimensões de 502 salas de aula, além dos percentuais de área de abertura em relação à área de piso, e posteriormente, realizou-se

uma análise estatística baseada na moda, ou seja, na frequência de ocorrência.

A caracterização físico-constructiva da arquitetura escolar no âmbito da rede pública de ensino de Maceió-AL baseou-se nos trabalhos sobre a arquitetura pública escolar local, além de visitas *in loco*. A Figura 1 apresenta uma síntese dos materiais e componentes arquitetônicos de uma sala de aula, que pode ser considerada como representativa da rede pública municipal de ensino de Maceió-AL.



**Figura 1:** Sala de aula representativa da rede pública municipal de ensino de Maceió-AL

Como componentes arquitetônicos destinados à ventilação natural nas salas de aula, têm-se as janelas e os rasgos. Em relação à tipologia das aberturas recorrentes, destaca-se o emprego de janelas pivotantes verticais de madeira, que permite a total abertura do vão (Figura 2). Os rasgos se localizam geralmente opostos às janelas, voltados para os corredores e representam a totalidade da área de abertura do vão e objetivam proporcionar a ventilação cruzada no ambiente, pois desempenham a função de saída da corrente de ar interna (Figura 3).



**Figura 2:** Janela pivotante vertical



**Figura 3:** Rasgo

## 2.2 Caracterização dos modelos para simulação computacional acústica

As dimensões do modelo de sala de aula, de 6m (largura), 8m (comprimento) e 3m (pé-

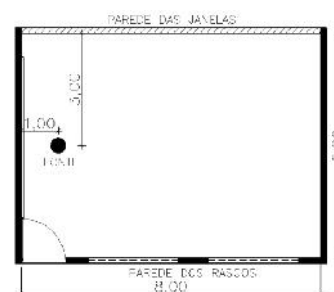
direito), foram definidas de acordo com a sala mais recorrente, identificada na análise estatística. Os coeficientes de absorção sonora ( ) dos materiais de acabamento são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Coeficientes de absorção sonora ( ) dos materiais componentes do modelo de sala de aula

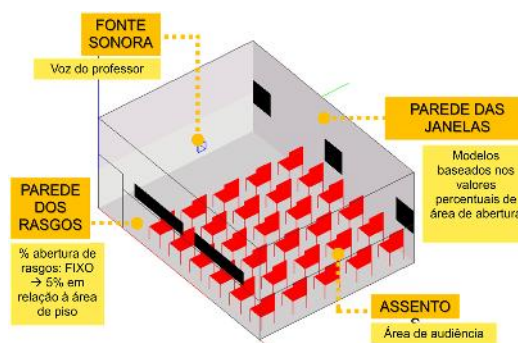
MATERIAL	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	
PAREDE	Reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
	Revestimento cerâmico	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
PISO	Concreto aparente, tratado e polido	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
TETO	Reboco	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
ABERTURA	Vão aberto	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
PORTA	Porta de madeira comum pintada	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10

Fonte: Adaptado de Bistafa (2006, p. 236-237).

Além das dimensões, outras características relativas à geometria permaneceram fixas, tais como a parede que contém os rasgos e a porta. A única partição que sofre alterações nos modelos trata-se da parede que contém as janelas, oposta à parede que possui os rasgos (Figuras 4 e 5).



**Figura 4:** Modelo da sala de aula: planta-baixa (dimensões em metros)



**Figura 5:** Modelo da sala de aula no Ease 4.3, com a representação das características

A fim de verificar o efeito da variável de dimensão das aberturas na qualidade acústica da sala de aula, os modelos foram baseados nos valores percentuais de abertura em relação à área de piso do ambiente, indicados no Quadro 1. A escolha de tais valores foi baseada nas áreas percentuais recomendáveis pelas normas técnicas relacionadas ao desempenho térmico das edificações e no condicionamento térmico passivo, de recomendações técnicas do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FUNDESCOLA (MEC, 2002). Tais informações foram cruzadas com os valores percentuais de abertura mais recorrentes, identificados na etapa de levantamento de dados acerca das aberturas existentes.

**Quadro 1:** Percentuais de abertura em relação à área de piso considerados nos modelos de simulação

DIMENSÃO	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
REPRESENTAÇÃO EM VISTA DA PARDEDE DE JANELAS							
ÁREA DE ABERTURA TOTAL* (RASGOS+JANELAS)	4,8m <sup>2</sup>	7,2m <sup>2</sup>	9,6m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	14,4m <sup>2</sup>	16,8m <sup>2</sup>	19,2m <sup>2</sup>
ÁREA DE ABERTURA DE JANELA	2,4m <sup>2</sup>	4,8m <sup>2</sup>	7,2m <sup>2</sup>	9,6m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	14,4m <sup>2</sup>	18,8m <sup>2</sup>

Cada um dos valores percentuais de abertura em relação à área de piso correspondem ao somatório da área de janela e de rasgos. Dessa forma, por exemplo, 10% de abertura em relação à área de piso corresponde a 5% de rasgos em relação à área de piso e 5% de janelas em relação à área de piso.

### 2.3 Simulação computacional acústica

Para obtenção dos resultados dos parâmetros acústicos, optou-se pela simulação computacional, com o auxílio do programa Ease 4.3. O referido programa utiliza-se da Equação de Sabine (1922) ou da Equação de Eyring (1930) para o cálculo clássico do

Tempo de Reverberação (TR). Além do TR, parâmetros acústicos, como a Clareza ( $C_{50}$ ), o Índice de Transmissão (STI) e a Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), podem ser obtidos por meio do método de traçado de raios e do método das fontes imagens.

Tendo em vista a relevância de determinados parâmetros acústicos na qualidade acústica de salas de aula, a presente avaliação considerou os seguintes parâmetros: Tempo de Reverberação (TR), Clareza ( $C_{50}$ ), o Índice de Transmissão (STI) e a Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons).

A fonte sonora utilizada trata-se de uma das configurações padrões da voz humana masculina disponível no programa, disposta a 1,7m acima do piso, que corresponde à altura de um indivíduo adulto, e localiza-se à frente dos assentos dos alunos, a 3m de distância da parede das janelas. O ruído de fundo adotado nas simulações foi de 50 dB(A), estimado para a sala desocupada. Utilizou-se o mapeamento com reflexões como forma de simulação. Para o cálculo de Tempo de Reverberação (TR) realizado nas simulações foi utilizada a Equação de Sabine (1922).

### 2.4 Tratamento dos dados

A avaliação da qualidade acústica foi realizada em dois níveis.

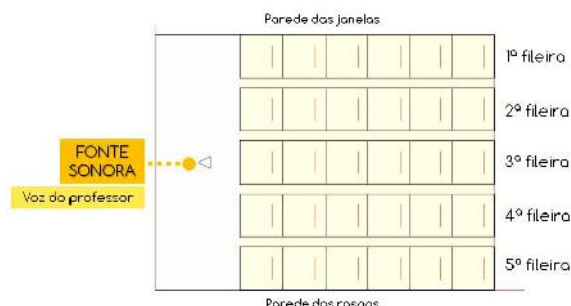
Inicialmente, foram analisados comparativamente os valores mais críticos em cada um dos modelos, ou seja, os valores registrados no assento menos favorecido da sala de aula. Assim, foi possível avaliar a situação mais prejudicial para o aluno/ouvinte, tendo como pressuposto de que na sala de aula deveria ser garantida condições satisfatórias de inteligibilidade da fala, independente da localização na área dos assentos/público receptor. Os resultados dos parâmetros acústicos obtidos foram verificados em relação à conformidade com as recomendações técnicas e normas relacionadas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Parâmetros acústicos com seus respectivos conceitos e referências

PARÂMETROS ACÚSTICOS	CONCEITO	REFERÊNCIAS
<b>Tempo de Reverberação (TR)</b>	- Trata-se do tempo necessário para que o nível de pressão sonora em um ambiente decaia os primeiros 60 dB após a interrupção do sinal sonoro (MEHTA <i>et al</i> , 1999). - TR recomendável de até 0,6s (para salas de aula desocupadas, de volume de até 283m <sup>3</sup> , nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz).	ANSI S12.60 (2002)
<b>Clareza (C<sub>50</sub>)</b>	- O parâmetro C <sub>50</sub> é indicado para medir a definição em que os sons são percebidos numa sala, expressa em dB. - Valores de C <sub>50</sub> acima de 2 dB favorecem a inteligibilidade da palavra.	Marshall (1994)
<b>Índice de Transmissão da Fala (STI)</b>	Corresponde a um dos parâmetros mais utilizados na avaliação da qualidade acústica de salas nas quais a compreensão das palavras é imprescindível. Considera a interferência do ruído de fundo e a reverberação, uma vez que tais aspectos podem prejudicar a inteligibilidade da fala. Os valores de STI podem variar entre 0 (zero), que representa inteligibilidade nula e 1 (um), que corresponde à inteligibilidade excelente.	IEC 60268-16 (2011)
<b>Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)</b>	A %ALCons destina-se à quantificação da porcentagem da perda na articulação, que é baseada na percepção das palavras pelos ouvintes. Considera as características acústicas da fonte sonora e da sala, do volume do ambiente (V) e do TR. - Os valores de %ALCons variam entre 0%, que corresponde à excelente inteligibilidade da fala e 100%, que representa inteligibilidade nula.	IEC 60268-16 (2011)

Em relação ao segundo aspecto analisado, avaliou-se a distribuição espacial dos resultados dos parâmetros, auxiliada pela observação dos mapas acústicos dos modelos. Com o intuito de representar as posições (assentos) dos alunos na sala de aula e obter resultados dos parâmetros acústicos nos locais mais prováveis de ocupação do ambiente por parte de seus usuários/ouvintes, a área de mapeamento, também chamada de área de audiência, foi dividida em 30 pontos (Figura 6), representados pelos quadrados. A altura do ponto em relação ao piso foi de 1,20m, que

corresponde à altura aproximada de uma pessoa sentada.



**Figura 6:** Modelo de sala de aula em planta-baixa, com a representação da fonte sonora e assentos/área de audiência

Para análise dos resultados dos parâmetros acústicos foram enfatizadas as frequências sonoras a partir de 500Hz, visto que a maior contribuição para a inteligibilidade da fala é obtida a partir dessa faixa de frequência.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Influência da dimensão nos resultados críticos dos parâmetros acústicos

Ao considerar o efeito da variável de dimensão das aberturas, verifica-se que os valores de Tempo de Reverberação (TR) excedem às recomendações presentes nas normas ANSI S12.60: *Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools* (ANSI, 2002) e NBR 12179 - Tratamento acústico em recintos fechados (1992) (Gráfico 1).

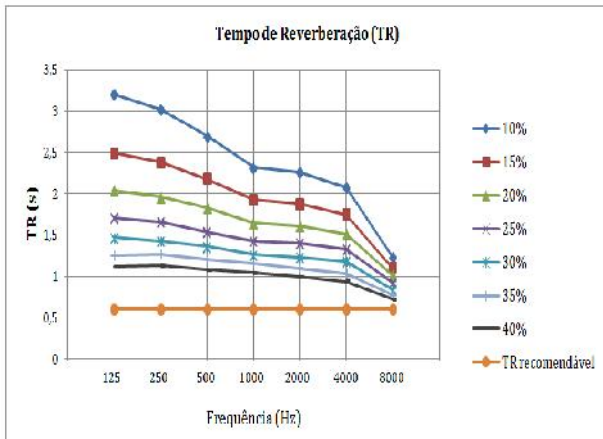
Uma vez que a norma ANSI S12.60 (2002) indica TR de até 0,6s para salas de aula desocupadas, de volume de até 283m<sup>3</sup>, nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, pode-se observar, através do Gráfico 1, que o modelo com 40% de abertura em relação à área de piso obteve os valores mais favoráveis de TR, embora possua valores acima de 1s na maior parte das frequências consideradas (Gráfico 1).

As simulações comprovam que com a alteração da área de abertura, do menor percentual para do maior percentual de



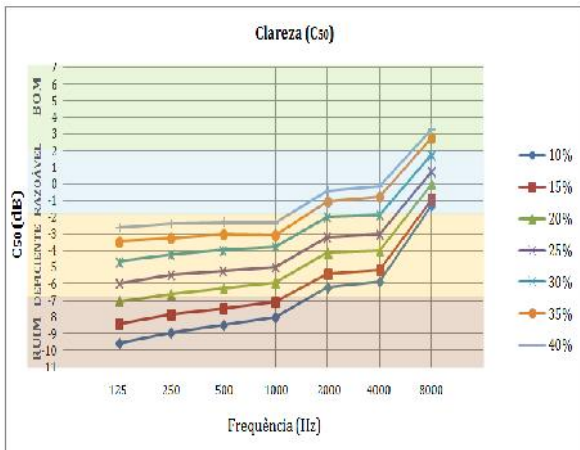
abertura, de 10% para 40%, o TR passa de 2,7s para 1,08s (na frequência de 500Hz), o que aponta um decréscimo de cerca de 60% do valor de TR. Verifica-se que a cada aumento de 5% de área de abertura de janela, há uma melhoria nos valores de TR (500Hz) em torno de 10% a 19%.

**Gráfico 1:** Resultados críticos do Tempo de Reverberação (TR)



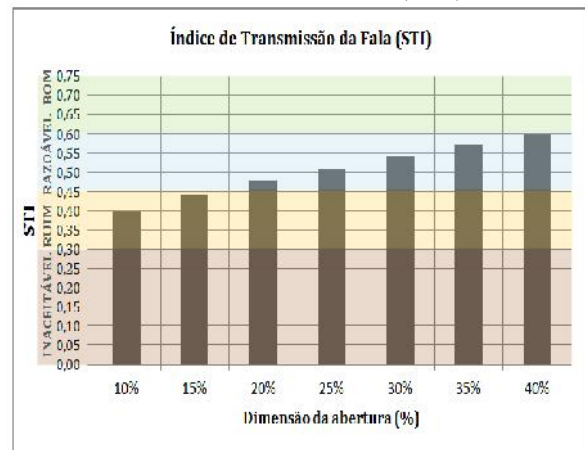
Os resultados de Clareza ( $C_{50}$ ), conforme apresentados no Gráfico 2, indicam que o aumento da dimensão das aberturas acarreta em melhorias nos valores do parâmetro. Ao comparar a variação dos valores de  $C_{50}$  em função do aumento a cada 5% de área de abertura dos modelos, verifica-se o acréscimo no  $C_{50}$  (500Hz) em torno de 12% a 24%, a depender do modelo.

**Gráfico 2:** Resultados críticos de Clareza ( $C_{50}$ )



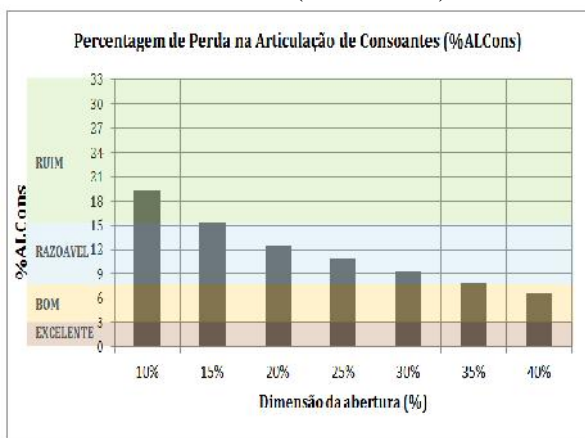
Os resultados indicam que com o aumento da área de abertura, valores mais favoráveis do Índice de Transmissão da Fala (STI) são observados, conforme ilustrado no Gráfico 3. Em relação à melhoria dos resultados de STI em função do aumento da dimensão da abertura, constata-se que a mudança do modelo com 10% de abertura para 40%, respectivamente, o valor passa de 0,40 para 0,60, o que representa um acréscimo por volta de 33% nos resultados. O aumento em 5% de área de abertura dos modelos representa o ganho em torno de 5% a 10% nos valores de STI.

**Gráfico 3:** Resultados críticos do Índice de Transmissão da Fala (STI)



Assim como os resultados dos parâmetros discutidos anteriormente, os valores críticos de Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) mais favoráveis foram obtidos com o aumento da dimensão das aberturas, conforme apresentado no Gráfico 4. O efeito do aumento da dimensão da abertura, de 10% para 40% em relação à área de piso, implica em uma melhoria nos valores de %ALCons por volta de 65%, passando %ALCons de 19,28% (modelo 10% de abertura) %ALCons de 6,64% (modelo 40% de abertura). Ao relacionar a variação dos valores de %ALCons em função do acréscimo em 5% de área de abertura dos modelos, os resultados sugerem uma melhoria que varia em torno de 13% a 20% nos valores.

**Gráfico 4:** Resultados críticos de Percentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)



Na Tabela 3, é possível observar uma melhoria na classificação em função do aumento da área de abertura, dos resultados nos assentos críticos relativos aos parâmetros:  $C_{50}$ , STI e %ALCons, além da obtenção de resultados de TR mais favoráveis com o aumento da dimensão da abertura.

**Tabela 3:** Síntese dos resultados nos assentos críticos

DIMENSÃO	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
<b>PARÂMETROS ACÚSTICOS</b>							
Tempo de Reverberação (TR) (500 Hz)	2,70	2,18	1,83	1,53	1,36	1,20	1,08
Clareza ( $C_{50}$ ) (500 Hz)	-8,49	-7,50	-6,26	-5,24	-3,97	-3,01	-2,31
Índice de Transmissão da Fala (STI)	0,40	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60
Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)	19,28	15,40	12,45	10,86	9,29	7,90	6,64

LEGENDA																				
<p><math>C_{50}</math>: Escala de Marshall (1994)</p>																				
<p>STI e %ALCons: Escala de classificação de acordo com a norma IEC 60268-16 (2011)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Intervalo de valores de STI</th> <th>Intervalo de valores de %ALCons</th> <th>Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,75 - 1</td> <td>0 - 3%</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>0,6 - 0,75</td> <td>3% - 7%</td> <td>Bom</td> </tr> <tr> <td>0,45 - 0,6</td> <td>7% - 15%</td> <td>Razoável</td> </tr> <tr> <td>0,3 - 0,45</td> <td>15% - 33%</td> <td>Ruim</td> </tr> <tr> <td>0 - 0,3</td> <td>33% - 100%</td> <td>Inaceitável</td> </tr> </tbody> </table>			Intervalo de valores de STI	Intervalo de valores de %ALCons	Classificação	0,75 - 1	0 - 3%	Excelente	0,6 - 0,75	3% - 7%	Bom	0,45 - 0,6	7% - 15%	Razoável	0,3 - 0,45	15% - 33%	Ruim	0 - 0,3	33% - 100%	Inaceitável
Intervalo de valores de STI	Intervalo de valores de %ALCons	Classificação																		
0,75 - 1	0 - 3%	Excelente																		
0,6 - 0,75	3% - 7%	Bom																		
0,45 - 0,6	7% - 15%	Razoável																		
0,3 - 0,45	15% - 33%	Ruim																		
0 - 0,3	33% - 100%	Inaceitável																		

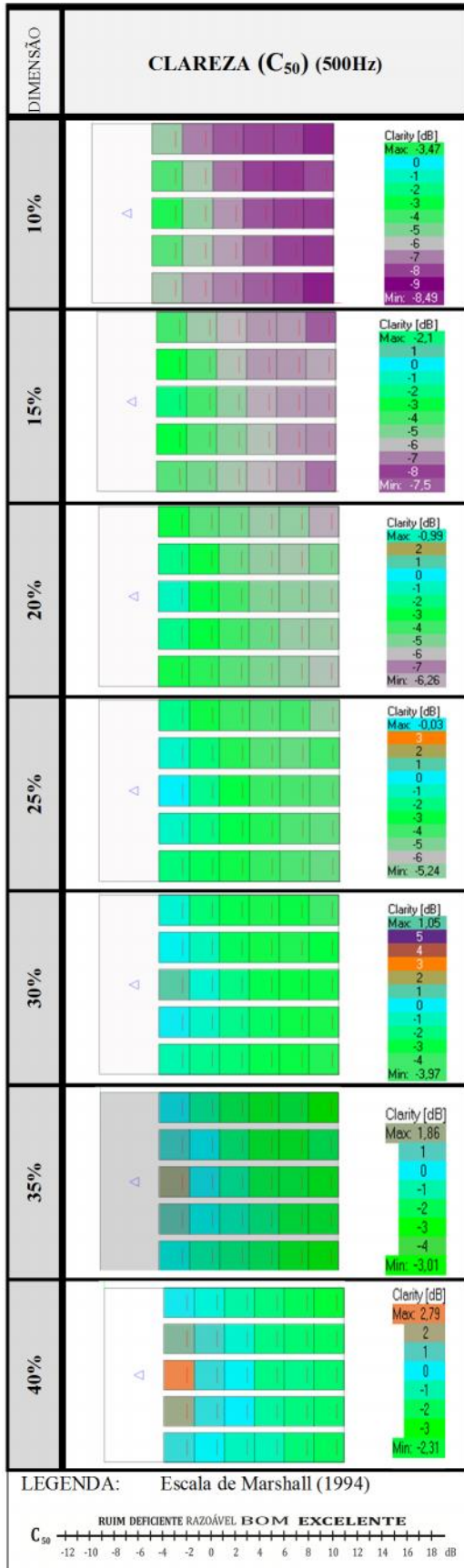
### 3.2 Distribuição espacial dos resultados dos parâmetros acústicos

Conforme discutido anteriormente, o aumento do percentual de área de abertura introduz melhorias nos parâmetros avaliados. À medida que o percentual de área de abertura aumenta, os valores de Clareza ( $C_{50}$ ) (500Hz) tendem a obter resultados mais favoráveis, principalmente, nos assentos próximos à fonte sonora (Quadro 2). Por exemplo, para o modelo com percentual de abertura de 40%, os valores de  $C_{50}$  atingem a marca de 2,79dB (500Hz), em um dos assentos, classificado como bom, segundo a escala de Marshall (1994). Entretanto, nesse mesmo modelo (40% de área de abertura), os valores de  $C_{50}$  (500Hz) podem chegar a -2,31dB nos assentos localizados no fundo da sala, o que pode ser considerado como deficiente, de acordo com a escala de classificação de Marshall (1994).

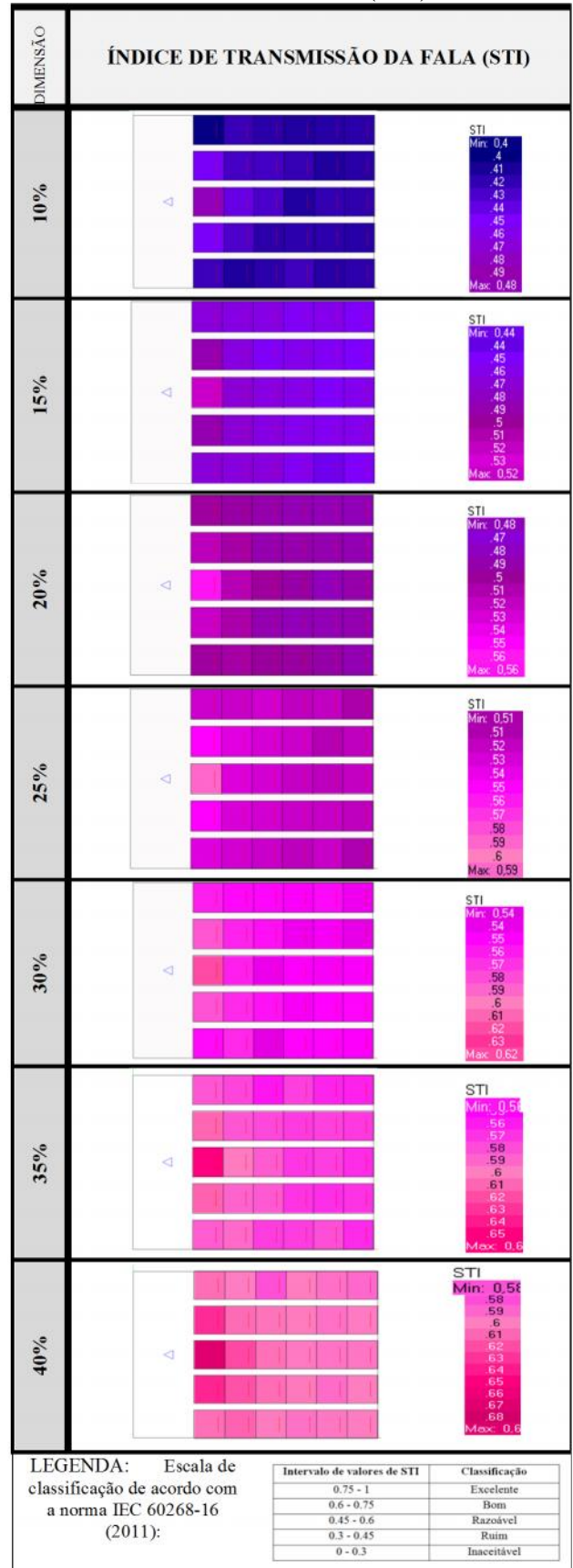
A distribuição espacial do Índice de Transmissão da Fala (STI) é apresentado no Quadro 3 e evidencia uma baixa amplitude (variação de valores) entre assentos próximos à fonte sonora (STI = 0,48) e a maior parte dos assentos situados nas extremidades da sala (STI = 0,40), na configuração com 10% de área de abertura. Ressalta-se que o menor valor de STI, e, portanto, o mais crítico, é observado no primeiro assento da primeira fileira. À medida que o percentual de área de abertura aumenta, a dispersão dos valores de STI tende a diminuir, no entanto, mantém-se a mesma amplitude.

A Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), na configuração com 10% de abertura apresenta a situação mais favorável no assento próximo à fonte, com valor de %ALCons de 12,42%, considerado razoável de acordo com a norma IEC 60268-16 (2011). No primeiro assento da primeira fileira, verifica-se o valor mais crítico, que corresponde a %ALCons de 19,28%, classificado como ruim, conforme a referida norma (Quadro 4).

**Quadro 2:** Mapas acústicos: Clareza ( $C_{50}$ ) na frequência de 500Hz

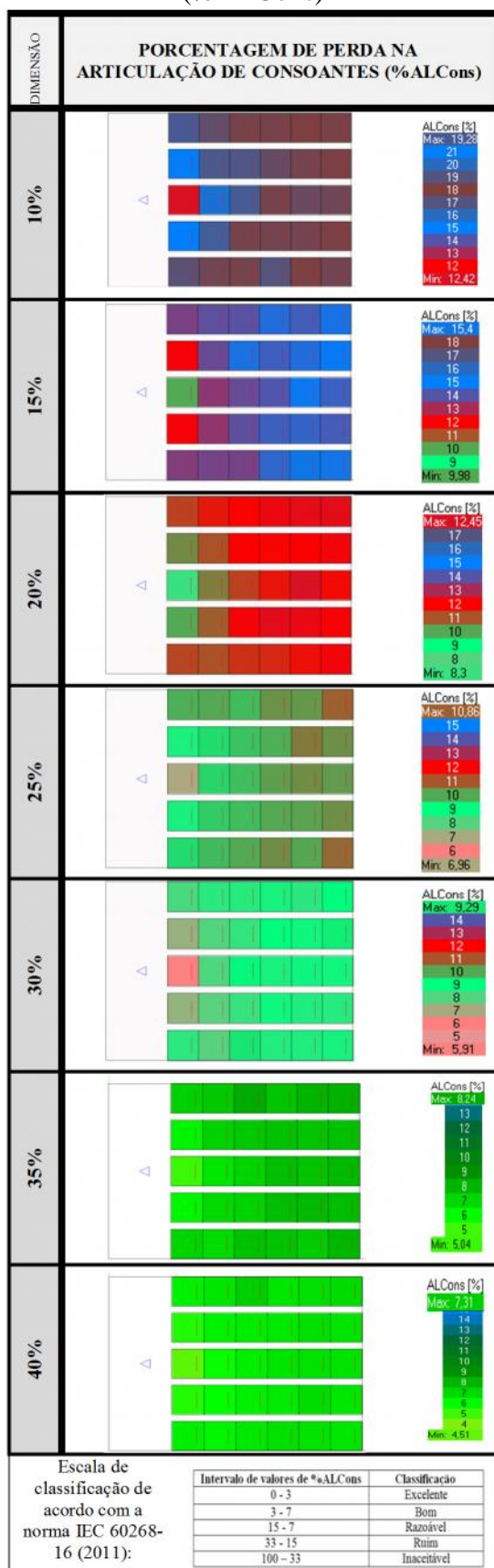


**Quadro 3:** Mapas acústicos: Índice de Transmissão da Fala (STI)





**Quadro 4:** Mapas acústicos: Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)



#### 4. CONCLUSÕES

Tendo em vista a importância das aberturas para o conforto térmico em regiões de clima quente-úmido, a variável de dimensão das aberturas consiste em um dos aspectos mais estudados no âmbito da ventilação natural. Por envolver decisões de projeto por parte do arquiteto, também torna-se necessária a investigação acerca das implicações desses componentes arquitetônicos na qualidade acústica interna.

Por meio dos resultados dos parâmetros acústicos nos assentos críticos, comprovou-se que o aumento da área de abertura constitui-se como uma estratégia para obtenção de melhores resultados, visto que as aberturas representam expressiva capacidade de absorção sonora. Observa-se que o aumento da área de abertura contribui para a maior uniformidade dos resultados dos parâmetros acústicos na sala de aula, principalmente em se tratando dos modelos com maiores percentuais de abertura, acima de 20% de abertura.

O aumento da dimensão das aberturas, além de favorecer a ventilação natural no interior da sala de aula, também contribui para captação da iluminação natural. As aberturas, tidas como componentes de controle ambiental, quando bem planejadas, podem contribuir para o projeto de edificações escolares mais sustentáveis, ambientalmente adequadas e confortáveis, por meio de alternativas passivas de projeto de acordo com os conceitos de arquitetura bioclimática

É necessário fazer a ressalva de que as edificações escolares que requerem o uso da ventilação natural devem ser associadas ao planejamento da localização no contexto urbano, a fim de evitar níveis de ruído acima dos toleráveis, visto que as aberturas podem interferir expressivamente no decréscimo do isolamento sonoro do ambiente. Além da preocupação com o entorno, o zoneamento das escolas pode favorecer maior proteção dos ambientes de salas de aula em relação às fontes sonoras externas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações (partes 1, 2 e 3). Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12179** – Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- AMORIM, A. E. B. **Formas geométricas e qualidade acústica de salas de aula**: estudo de caso em Campinas-SP. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI S12.60**: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Accredited Standards Committee S12, Noise. Standards Secretariat Acoustical Society of America, Melville, NY: American National Standards Institute, Inc, 2002, 50p.
- ARAÚJO, B. C. D. de. **Proposta de elemento vazado acústico**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 368p.
- EGAN, M. David. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988. 411p.
- EYRING, C. F. Reverberation time in “dead” rooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v.1, p.217-241, 1930.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2.ed. Florianópolis: NR Editora, UFSC, 2000. 696p.
- IEC - INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60268-16**: Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 2011.
- INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **DataEscolaBrasil**. Disponível em: <<http://www.dataescolabrasil.inep.gov.br/dataEscolaBrasil/>> . Acesso em: 01/05/2014.
- KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 2.ed. London, UK: Applied Science Publishers LTD., 1979. 300p.
- MARSHALL, L. G. An acoustics measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 96, p.2251-2261, 1994.
- MARTELLOTTA, F. On the sound absorption by openings in rooms (L). **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 132, n.5, p. 2951–2954, 2012.
- MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Espaços educativos** – ensino fundamental: subsídios para elaboração de projetos e adequação de edificações escolares. Cadernos técnicos, n. 4, v.2. Brasília: FUNDESCOLA, 2002.
- MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural acoustics: principles and design**. Columbus: Prentice Hall, 1999. 446p.
- OITICICA, M. L. G. da R. **Desempenho acústico de diferentes tipologias de peitoris ventilados**. Tese (Doutorado). Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.
- SABINE, W. C. **Collected Papers on Acoustics**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1922.
- SAUTER, A.; SOROKA, W. W. Sound transmission through rectangular slots of finite depth between reverberant rooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 47, n.1, p.5–11, 1970.
- SGARD, F.; NELISSE, H.; ATALLA, N. On the modeling of the diffuse field sound transmission loss of finite thickness apertures. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 12, n.1, p.302–313, 2007.
- WILSON, G. P.; SOROKA, W. W. Approximation to the diffraction of sound by a circular aperture in a rigid wall of finite thickness. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 37, n.2, 1965, p.287–297.