



AValiação Comparativa do Desempenho Acústico, Térmico e Energético das Envoltórias de Escolas Públicas em Maceió-AL

Jordana Teixeira da Silva (1); Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado – DEHA, jordana.teixeiraa@gmail.com

(2) Dra., Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, mloiticica@hotmail.com
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Maceió-AL, CEP 57072-900, Tel.: (82) 3214 1309

RESUMO

A envoltória dos edifícios exerce grande influência na determinação do desempenho das construções, e possui a função de controlar parâmetros como a entrada dos ruídos e as trocas térmicas dos edifícios com o meio exterior. As escolas, por serem espaços destinados ao ensino e aprendizagem, necessitam que os ambientes atendam aos níveis satisfatórios de conforto. O presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho acústico, o desempenho térmico e o nível de eficiência energética das envoltórias de três escolas públicas, localizadas na cidade de Maceió-AL. Como metodologia, avaliaram-se os seguintes aspectos: isolamento acústico das salas de aula; verificação do atendimento aos requisitos e critérios de desempenho térmico para fachadas e coberturas, conforme as normas brasileiras, além da classificação do nível de eficiência energética da envoltória, de acordo com o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Os resultados apresentaram pouca integração entre os parâmetros investigados: as salas de aula não possuem isolamento acústico satisfatório; comprovou-se a adequação térmica das paredes externas, enquanto os dispositivos de sombreamento não são eficientes; quanto ao desempenho energético, as escolas alcançaram níveis “C”, “E” e “E” (Escola I, II e III, respectivamente). As escolares investigadas compõem um quadro arquitetônico no qual se comprova a pouca qualidade dos projetos arquitetônicos dos espaços físicos. A preocupação com os referidos aspectos contribuem na busca de soluções integradas ao projeto visando uma contextualização mais sustentável.

Palavras-chave: desempenho acústico, desempenho térmico, eficiência energética, arquitetura escolar.

ABSTRACT

The envelope of the buildings has great influence in determining the performance of buildings, has function to control parameters such as input noise and heat exchange with the surrounding buildings exterior. Schools, being spaces for teaching and learning environments that need to meet satisfactory levels of comfort. The present study aims to comparatively evaluate the acoustic performance, thermal performance and energy efficiency level of envelopes of three public schools located in the city of Maceio - AL. The methodology evaluated the following aspects: acoustic isolation classrooms; verifying compliance with the requirements and performance criteria for façades and roofs, according to Brazilian standards of thermal performance, and the classification of the level of energy efficiency of the envelope, according to the prescriptive method of the Technical Regulation on Quality Level Energy Efficiency in Commercial Buildings, and Public Service. The results showed little integration between the investigated parameters: the classrooms have no acoustic insulation satisfactory; proved the suitability of thermal external walls, while the shading devices are not efficient, as the energy performance, the schools have reached levels "C", "E" and "E" (School I, II and III, respectively). The schools investigated architectural framework in which it proves the poor quality of the architectural designs of physical spaces. The concern about these aspects contribute to finding solutions to the integrated project aiming at a more sustainable context.

Keywords: acoustic performance, thermal performance, efficient energy performance, architecture school.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho do edifício em relação aos seus diversos aspectos podem determinar as condições de conforto ambiental, uma vez que os materiais e componentes construtivos podem influenciar o desempenho ambiental do edifício. Nesse sentido, a envoltória, que corresponde ao conjunto formado pelos planos externos da edificação, além de todos os elementos e componentes que os contém, tais como cobertura, fachadas, aberturas, *brises*, marquises, empenas, entre outros, constitui-se como o principal sistema que determina o desempenho do edifício (LABEEE *et al*, 2012).

Com o intuito de proteger os usuários do espaço construído do ruído externo, é necessário que as vedações externas cumpram a função de isolar acusticamente a edificação. Nesse sentido, os elementos e componentes construtivos podem atenuar ou favorecer a penetração do ruído nas edificações.

Nos países de clima tropical pode-se encontrar conflitos entre a necessidade de ventilação e de isolamento acústico. As dificuldades existem quando se buscam atingir o conforto térmico, a exemplo da utilização das aberturas para o aproveitamento da ventilação natural, tornando as fachadas sensíveis à entrada dos ruídos externos (NIEMEYER; SLAMA, 1998). Observa-se com frequência que o isolamento acústico dos edifícios é desconsiderado ou deixado em segundo plano, devido à preocupação prioritária com o conforto térmico (quando obtido por meio da ventilação) e com a proteção solar.

Tendo em vista a preocupação com o alto consumo de energia elétrica, por meio da Lei 10.295/2001, (BRASIL, 2001) o Governo Brasileiro tem incentivado programas que promovam a eficiência energética dos edifícios, em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. Em fevereiro de 2009, foi publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO o Regulamento Técnico para Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (LABEEE *et al*, 2012). É de caráter voluntário, entretanto, espera-se que no futuro, se torne compulsório (BRASIL, 2009). O RTQ-C representa uma das ações desenvolvidas no âmbito da Política de Eficiência Energética do Governo Federal e tem a finalidade de promover a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética dos edifícios públicos, de serviços e comerciais quanto ao desempenho energético da envoltória, do sistema de condicionamento de ar e do sistema de iluminação artificial. Para cada requisito, as classificações podem variar de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Ao término do processo de classificação, o edifício recebe uma etiqueta, que indica o nível final e os níveis parciais de cada requisito avaliado.

As edificações escolares públicas são caracterizadas como importantes objetos de estudo, em função da necessidade da abordagem de forma integrada da eficiência energética, qualidade acústica e térmica dos edifícios. Por se tratarem de edifícios públicos, a preocupação com a redução de consumo de energia é de fundamental importância, pois os recursos gastos com o desperdício de energia poderiam ser mais bem aproveitados, para melhoria da qualidade da educação pública.

Conforme aponta Schneider (2002), ao apresentar alguns estudos desenvolvidos nos Estados Unidos, as condições de conforto ambiental em salas de aula, a exemplo da qualidade do ar, ventilação, conforto térmico, lumínico e acústico, são fatores que interferem diretamente no desempenho acadêmico dos alunos. No contexto do Brasil, vale ressaltar a realização de alguns trabalhos que abordam de maneira simultânea alguns aspectos relacionados ao conforto ambiental, tais como os trabalhos de Azevedo (2007) e Dias (2009), com o estudo das condições de conforto acústico e térmico de salas de aula da rede pública de ensino.

Em Maceió-AL, a maioria das escolas públicas não utilizam condicionamento artificial de ar, sendo a ventilação natural a estratégia mais utilizada para a obtenção do conforto térmico. Para tal, são utilizados aparelhos de ventilação mecânica. Dada a grande importância da ventilação natural na obtenção de conforto térmico para os usuários, em se tratando do clima quente-úmido, grandes aberturas são usadas em salas de aula, o que também favorece a entrada de ruídos externos e, conseqüentemente, afetam a qualidade acústica dos ambientes.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho acústico, o desempenho térmico e o nível de eficiência energética das envoltórias de três escolas públicas, localizadas na cidade de Maceió – AL.


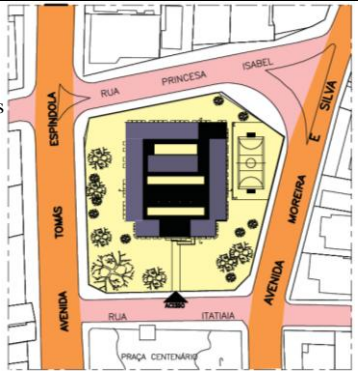
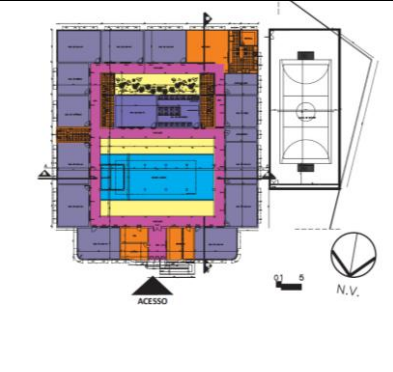

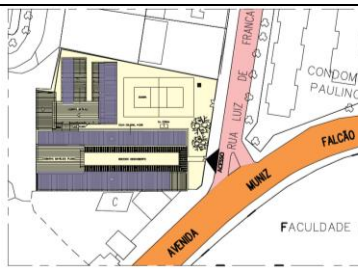




3. MÉTODO

O método aplicado para a realização do presente trabalho foi dividido em três etapas, descritas a seguir:

1. Levantamento e caracterização das edificações escolares avaliadas;
2. Avaliações dos desempenhos acústico, térmico e energético;
3. Avaliação comparativa dos resultados.

3.1. Levantamento e caracterização das edificações escolares avaliadas

Na presente etapa, buscou-se elaborar um levantamento de dados acerca das edificações escolares avaliadas: Escola I, Escola II e Escola III. Foram coletadas *in loco* informações a respeito das localizações e implantações das edificações em relação à proximidade com as vias de tráfego, caracterização e composição das envoltórias, aberturas, técnicas e materiais construtivos utilizados (Quadro 1).

ESCOLA I		<p>PAREDE: Alvenaria (25cm) de tijolos maciços</p> <p>TELHA CERÂMICA</p> <p>LAJE 15cm</p> <p>COBERTURA: Telha cerâmica sobre laje mista 15cm</p>		
ESCOLA II		<p>PAREDE: Alvenaria (15cm) de tijolos 6 furos</p> <p>TELHA CERÂMICA</p> <p>CÂMARA DE AR</p> <p>COBERTURA: Telha cerâmica com forro de PVC</p>		
ESCOLA III		<p>PAREDE: Alvenaria (25cm) de tijolos 6 furos</p> <p>COBERTURA: Telha cerâmica sobre laje de concreto 10cm, com 10mm de reboco</p>		

LEGENDA

- SALAS DE AULA
- SERVIÇO/ ADMINISTRAÇÃO
- ÁREA DESCOBERTA
- PÁTIO COBERTO
- CIRCULAÇÃO

Quadro 1 – Edificações escolares públicas avaliadas, com suas respectivas fachadas, composições das vedações externas (paredes externas e coberturas), e zoneamentos funcionais demonstrados em planta-baixa.

A Escola I, possui a planta do edifício basicamente quadrangular, com as salas de aula e demais ambientes localizados em torno do pátio central. Observa-se a existência de salas voltadas para as quatro fachadas. O terreno da citada escola apresenta-se como uma espécie de “ilha”, pois se encontra envolto por vias de tráfego intenso.

A Escola II, divide-se basicamente em dois blocos, um bloco maior mais próximo da avenida (via de maior fluxo) e um bloco de menor área (mais afastado da referida via). Cada bloco possui um pátio coberto. O terreno situa-se em uma esquina, próxima ao cruzamento entre uma avenida e uma rua.

A Escola III possui dois pavimentos: pavimento térreo e superior. No pavimento térreo está distribuída a maioria das salas de aula existentes. Localizada em um terreno de esquina, possui a fachada principal voltada para uma avenida, enquanto a outra fachada encontra-se voltada para uma rua de menor fluxo. Na

parte do sul do terreno, mais recuado em relação às vias, verifica-se a existência de um bloco de salas de aula, embora menos exposto ao ruído de tráfego e mais distante do pátio. No pavimento superior encontram-se cinco salas de aula, também localizadas próximas à fachada voltada para uma das ruas.

3.2. Avaliação dos desempenhos acústico, térmico e energético

3.2.1. Avaliação do desempenho acústico

Para realização da avaliação do desempenho acústico, foram verificadas as condições de ruído externo às escolas, por meio das medições *in loco* dos níveis de ruído, de acordo com os procedimentos sugeridos pela NBR 10151 (ABNT, 2000), com o auxílio do Medidor de Pressão Sonora, modelo 01db-Metravib Solo. No interior das salas de aula, as medições do nível de pressão sonora foram realizadas fora do horário de aula, com as salas de aula desocupadas. Os resultados obtidos foram comparados com os níveis de ruído considerados aceitáveis de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 1987).

A predição do isolamento acústico das fachadas e coberturas foi obtida através do cálculo do Índice de Redução Sonora. Para isto, foram selecionadas salas de aula das escolas avaliadas localizadas próximas às vias de tráfego de veículos, com uma das fachadas expostas ao ruído externo. Uma vez contabilizada as áreas de superfície de todos os materiais e componentes construtivos da sala de aula e os respectivos Índices de Isolamento Acústico, em dB, na frequência de 500 Hz, foi obtido o Índice de Redução Sonora em função da transmissividade média, considerando as seguintes situações de uso das janelas: 100%, 50% e 0% fechadas.

3.2.2. Avaliação do desempenho térmico

A avaliação do desempenho térmico compreendeu a investigação das recomendações e diretrizes construtivas relativas às vedações externas (paredes e coberturas) para a Zona Bioclimática 8 (Zona na qual Maceió está inserida), presentes na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), além da NBR 15575 (ABNT, 2008), de acordo com o Procedimento 1 (Simplificado), que consiste na análise prescritiva para verificação do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e para os sistemas de cobertura. As vedações externas das edificações localizadas na ZB-8 devem ser leves e refletoras, segundo as referidas Normas.

No que diz respeito ao estudo do posicionamento da edificação em relação aos ventos predominantes, observou-se o posicionamento das salas de aula de acordo com a orientação geográfica, do ponto de vista da exposição aos ventos predominantes, que no caso de Maceió-AL, pode-se destacar a predominância do vento sudeste. Além disso, foram verificadas se as salas de aula atendem à recomendação da NBR 15575-4 (ABNT, 2008) quanto às dimensões dos vãos mínimos de janelas e aberturas para ventilação natural.

Por meio da utilização de cartas solares, (BITTENCOURT, 2004) com a elaboração de máscaras de sombreamento, através do software SOL-AR 6.2 (LABEEE, 2011) foi verificado o desempenho do sombreamento dos dispositivos de proteção solar das aberturas.

3.2.3. Avaliação do nível de eficiência energética da envoltória

Para avaliação do nível de eficiência energética da envoltória dos edifícios em estudo, foi aplicado o Regulamento Técnico para Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, de acordo com o método prescritivo, que é válido para edificações comerciais, públicas e de serviços, com área útil mínima de 500m² (LABEEE *et al*, 2012).

3.3. Avaliação comparativa dos resultados

Uma vez realizada as etapas anteriores, os resultados das avaliações dos desempenhos acústico, térmico e energético das envoltórias foram comparados entre as escolas em estudo. Foi possível verificar as divergências e semelhanças entre os resultados obtidos.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Avaliação do desempenho acústico

4.1.1. Condições de ruído externo e interno às edificações escolares

Através nas medições *in loco* verificou-se que os níveis de ruído externo atingiram valores mais elevados próximos às fachadas orientadas para as vias primárias, de maior fluxo de tráfego de veículos (Figura 1). Em relação aos ruídos internos nas salas de aula, observou-se que os valores excederam 58 dB (A). Portanto, os valores internos ultrapassaram ao nível recomendado pela NBR 10152 (ABNT, 1987), que por sua vez indica para os níveis de conforto acústico valores entre 40 e 50 dB (A).

Os valores identificados quanto aos níveis de ruído externos e interno reforçam a necessidade de promover o isolamento sonoro das edificações. Constata-se que a fonte de ruído proveniente do tráfego de veículos pode representar um fator determinante na propagação do ruído externo ao interior das edificações, caso estas não apresentem uma boa qualidade quanto ao isolamento acústico das vedações externas.

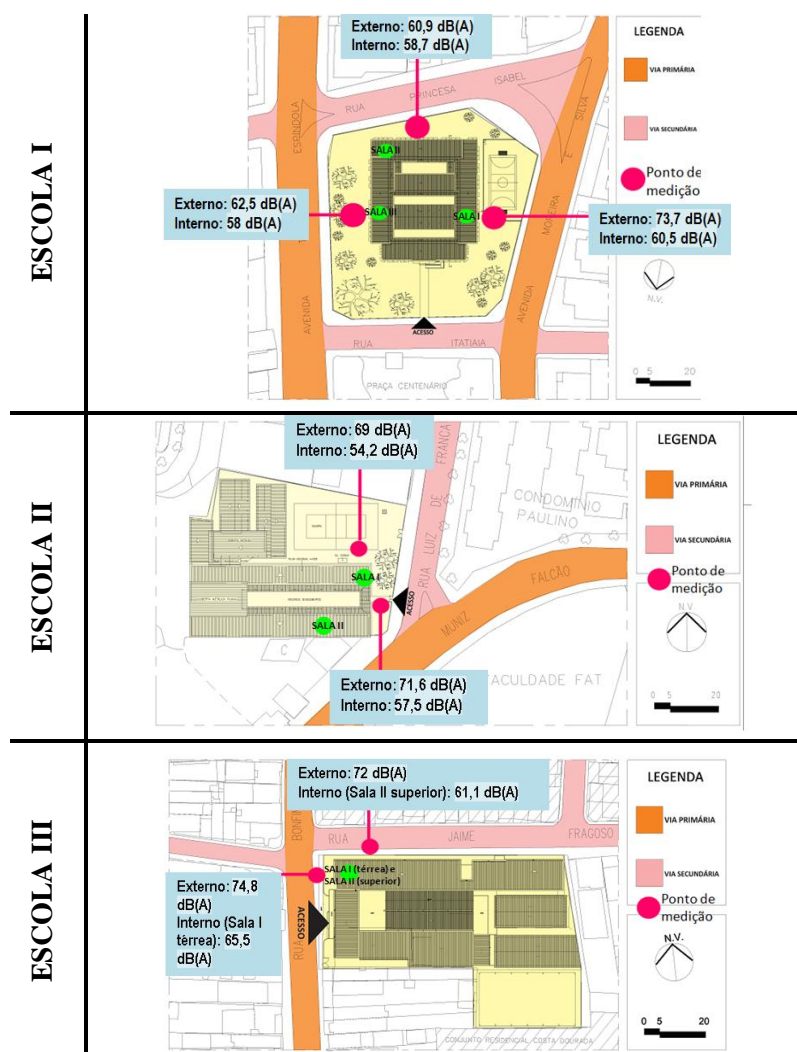


Figura 1 – Pontos de medições dos níveis de ruído externos e internos (salas de aula selecionadas).

4.1.2. Predição do isolamento acústico

Os parâmetros que definem o nível de isolamento acústico das salas de aula são a composição e espessura das paredes externas, além das paredes que dividem os ambientes, cobertura, tipo de forro, tipo de esquadria, bem como o percentual de área de abertura. Para tanto, foram contabilizados tais parâmetros e identificados os Índices de Isolamento Acústico de cada material e componente construtivo (Tabela 1).

Tabela 1 – Índices de Isolamento Acústico, em dB (500Hz) dos materiais e componentes empregados nas edificações escolares estudadas

DESCRIÇÃO	Índices de Redução Sonora (dB) 500Hz*			
	PAREDE	COBERTURA	JANELA	PORTA
ESCOLA I PAREDE: alvenaria 25cm (tijolo maciço); COBERTURA**: laje mista 15cm; JANELA: basculante de vidro 3mm; PORTA: madeira, interior sólido.	50 dB	45 dB	20 dB	18 dB
ESCOLA II PAREDE: alvenaria 15cm (tijolo 6 furos); COBERTURA**: forro de PVC; JANELA: basculante de vidro 3mm; PORTA: madeira, interior sólido.	28 dB	18 dB	20 dB	18 dB
ESCOLA III PAREDE: alvenaria 25cm (tijolo 8 furos); COBERTURA**: laje de concreto 10cm, com 10mm de reboco; JANELA: veneziana de madeira; PORTA: madeira, interior sólido.	40 dB	45 dB	18 dB	18 dB

*Os Índices de Isolamento Acústico foram retirados da Tabela 1, da NBR 12179 (ABNT, 1992) e de Carvalho (2006).

**Devido à dificuldade de obtenção dos valores referentes aos índices de isolamento acústico das telhas cerâmicas, empregadas nas três edificações estudadas, esse dado não foi incluído no presente estudo. Assim, foram considerados os Índices de Isolamento Acústico das lajes e do forro de PVC.

Ao comparar as três escolas, observa-se que houve decréscimo do isolamento acústico para a situação em que 100% das janelas fechadas (Tabela 2). Constatou-se que a Escola I alcançou o maior valor do índice de Redução Sonora para as situações em que 100% das janelas encontram-se fechadas, acima de 19 dB. Entretanto, vale salientar que a Escola II e a Escola III, apesar de apresentarem espessuras diferentes das paredes externas, sendo de 25cm e 15cm, respectivamente, os valores são muito aproximados em se tratando da totalidade das janelas fechadas. Esse resultado se deve pelo fato da Escola II apresentar pouca área efetiva de abertura, se comparada à Escola III, que possui a maior área efetiva de abertura entre as escolas estudadas.

Tabela 2 – Índice de Redução Sonora das paredes externas das salas de aula das edificações escolares estudadas

	Área efetiva de abertura das janelas (Total por sala de aula)	Índices de Redução Sonora (dB) 500 Hz		
		100% - Janelas fechadas	50% - Janelas abertas	100% - Janelas abertas
ESCOLA I	5,12 m ²	19,0	15,5	13,6
ESCOLA II	1,47 m ²	17,1	16,2	15,5
ESCOLA III	6,74 m ²	16,6	14,1	12,4

Observa-se que as salas de aula das três edificações escolares avaliadas não apresentam isolamento satisfatório contra o ruído externo, visto que os Índices de Redução Sonora encontrados são inferiores aos Índices de Redução Sonora mínimos para atender a situação em estudo, ou seja, para que o nível de ruído no interior das salas atingisse no máximo 50 dB (A), seria necessário aumentar o isolamento acústico das salas de aula (Tabela 3).

Tabela 3 – Índice de Redução Sonora mínimo para atender a situação em estudo, de acordo com o maior nível de ruído externo encontrado

	EXTERNO	INTERNO	Índice de Redução Sonora (500 Hz) mínimo para atender a situação em estudo	Índice de Redução Sonora dB (500 Hz) encontrado (obtido através do cálculo)**
	Ruído Externo encontrado dB(A) (500 Hz) (medições <i>in loco</i>)	Nível de Ruído Máximo admissível para SALAS DE AULA NBR 10152 (ABNT, 1987) dB(A)*		
ESCOLA I	76,9	50	23,7 dB	13,63 dB
ESCOLA II	72,2		19,0 dB	15,50 dB
ESCOLA III	78,0		21,8 dB	12,43 dB

*50 dB(a) equivale a 53,2 dB, na frequência de 500 Hz.

**Índice de Redução Sonora, em dB (500 Hz) encontrado, em se tratando de 100% das janelas abertas.

Sabe-se que, apesar de comprometerem substancialmente o isolamento acústico de qualquer parede, as aberturas são essenciais para a entrada de ventilação natural. Constata-se, dessa forma, o conflito entre a necessidade de criar aberturas para a ventilação e ao mesmo tempo garantir níveis aceitáveis de ruído interno nos ambientes. Esta situação é agravada pela localização das aberturas, visto que a proximidade com as vias de tráfego podem aumentar a permeabilidade da edificação ao ruído.

4.2. Avaliação do desempenho térmico

4.2.1. Adequação das vedações externas

As propriedades térmicas das paredes externas satisfazem os requisitos de transmitância e fator solar estabelecidos pela NBR 15220, Parte 3 (ABNT, 2005) e NBR 15575, Parte 4 (ABNT, 2008), como pode ser observado na Tabela 4. Os resultados adequados do fator solar dos elementos opacos podem ser explicados pelo emprego de cores claras, uma vez que tais cores representam menor absorção de calor, se comparadas às cores escuras.

Tabela 4 – Comparação entre os valores das propriedades térmicas das paredes externas em relação à NBR 15220, Parte 3 (ABNT, 2005) e NBR 15575, Parte 4 (ABNT, 2008)

Paredes Externas			NBR 15220, Parte 3			NBR 15575, Parte 4
			Transmitância Térmica (U, em W/(m ² K)) U ≤ 3,60	Atraso Térmico φ (horas) φ ≤ 4,3	Fator Solar FS _o FS _o ≤ 4,0	Capacidade Térmica (C, em kJ/(m ² K)) C _T ≥ 45 kJ/(m ² K)
Alvenaria de tijolos cerâmicos maciços (paredes com espessura de 25cm)	ESCOLA I	Pintura branca (α=0,20)	2,46	6,4	2	447
		Pintura amarela (α=0,30)	2,46	6,4	3	447
		Revestimento cerâmico cor branca (α=0,20)	2,24	6,9	1,8	409
Alvenaria de tijolos 6 furos (paredes com espessura de 15cm)	ESCOLA II	Pintura branca (α=0,20)	3,1	3,8	2,5	250
		Pintura rosa-claro (α=35)	2,21	4,9	3,1	249
		Revestimento cerâmico cor branca (α=0,20)	2,98	4,2	2,4	262
Alvenaria de tijolos 8 furos (paredes com espessura de 25cm)	ESCOLA III	Pintura branca (α=0,20)	2,46	6,4	2	402
		Pintura verde-claro (α=0,40)	2,32	6,3	3,7	402
		Revestimento cerâmico cor branca (α=0,20)	2,98	4,2	2,4	262

Comparando os resultados com os requisitos estabelecidos pela NBR 15220, Parte 3 (ABNT, 2005), verifica-se que as coberturas compostas de telha cerâmica e laje, utilizadas nas Escolas I e III, comportam-se de forma mais favorável em relação ao desempenho térmico, apresentando maior isolamento térmico se comparado à cobertura de telha cerâmica e forro de PVC, utilizado na Escola II (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação entre os valores das propriedades térmicas das coberturas em relação à NBR 15220, Parte 3 (ABNT, 2005) e NBR 15575, Parte 4 (ABNT, 2008)

Coberturas		NBR 15220, Parte 3			NBR 15575, Parte 4	
		Transmitância Térmica (U, em W/(m ² K)) U ≤ 2,30.FT*	Atraso Térmico φ (horas) φ ≤ 3,3	Fator Solar - FS _o FS _o ≤ 6,5	Transmitância Térmica ⁽¹⁾ (U, em W/(m ² K)) U ≤ 2,30 FV (Nível Mínimo)	Absortância (α, adimensional) Sem exigência
Telha cerâmica com laje mista	ESCOLA I	1,92 . 1 = 1,92	3,6	8,3	U = 1,92	α = 0,75
Telha cerâmica com forro de PVC	ESCOLA II	3,58 . 1 = 3,58	0,7	10,7	U = 3,58	α = 75
Telha cerâmica com forro de laje de concreto 10cm Telha de fibro-cimento	ESCOLA III	2,05 . 1 = 2,05	3,7	9,8	U = 2,05	α = 0,75
		4,60 . 1 = 4,60	0,2	10,07	U = 4,60	α = 0,80

* O fator FT para a cobertura da edificação em questão corresponde a 1 (um), pois as coberturas não possuem ático ventilado.

4.2.2. Posicionamento das salas de aula em relação aos ventos predominantes

Ao estudar a incidência dos ventos na Escola I, pode-se perceber que o vento sudeste, mais predominante, favorece significativamente as salas de aula orientadas a leste e sul. Na Escola II, o pátio central favorece a canalização dos ventos sudeste. Na Escola III, as salas de aula localizadas no andar superior são privilegiadas, tanto para a ventilação nordeste e sudeste.

4.2.3. Estudo dos vãos mínimos para aberturas

Através dos cálculos, observa-se que os ambientes de salas de aula das Escolas I e II possuem percentual de aberturas inferior a 15% em relação à área total do piso. Portanto, esses ambientes não atendem à

recomendação descrita na NBR 15575, Parte 4 (ABNT, 2008), que estabelece, no mínimo, 15% da área total. Apenas a Escola III atende ao percentual mínimo de aberturas em relação à área de piso, o que corresponde a 17%.

4.2.4. Sombreamento das aberturas

As três edificações escolares avaliadas possuem elementos horizontais de sombreamento das aberturas, beirais, com projeções que variam de 0,60m a 0,30m.

Verificou-se que, especialmente no caso das Escolas I e II, os dispositivos de proteção solar não cumprem a função de forma satisfatória, uma vez que a proteção não se mantém geralmente por mais de duas horas nas salas de aula, o que favorece a exposição de tais ambientes à radiação solar direta, dependendo da orientação geográfica. Já a Escola III, vale ressaltar que notou-se a preocupação de evitar a insolação na fachada norte durante o equinócio.

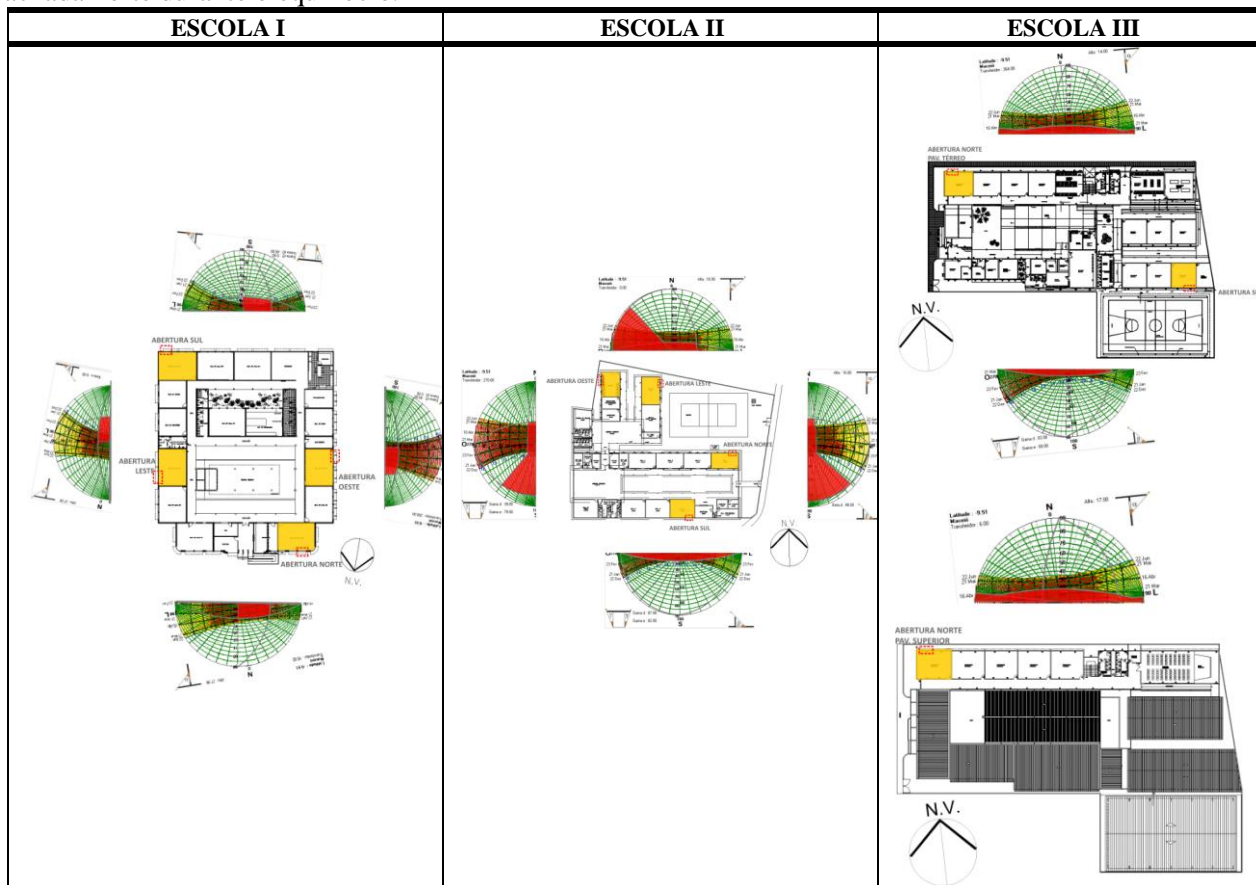


Figura 2 – Máscaras de sombreamento das aberturas localizadas nas fachadas das edificações escolares avaliadas.

4.3. Avaliação da eficiência energética da envoltória

A análise dos pré-requisitos baseia-se nas recomendações do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, descrito na NBR 15220 (ABNT, 2005). Para tal, são observadas as exigências mínimas para que se possa alcançar os níveis de eficiência energética estabelecidos pelo RTQ-C.

Os resultados obtidos pela média ponderada das transmitâncias e absorptâncias de cada material em função da área ocupada por essas superfícies são comparados com as exigências para a classificação energética relativas a cada nível.

Em relação aos pré-requisitos para as paredes externas das três edificações avaliadas, os resultados de transmitância térmica atendem aos requisitos para a classificação "A". Por conta do uso predominante de cores claras nas fachadas dos edifícios, os resultados de absorptância solar das paredes externas foram positivos, atingindo no máximo, 0,28. Em relação aos requisitos de cobertura, somente a Escola I se ajusta aos requisitos para o nível "C" ou "D", pois a transmitância da cobertura de ambientes condicionados não ultrapassa 2,0 W/(m²K), que corresponde ao valor máximo para que a cobertura alcançasse o nível "C" ou

“D”. Quanto aos referidos pré-requisitos, as Escolas II e III se enquadram no nível "E", uma vez que a transmitância das coberturas excede 2,00 / (m² K).

Para obter os níveis de eficiência energética das envoltórias através do método prescritivo, os indicadores de consumo ICenv foram calculados usando a equação específica para as Zonas Bioclimáticas 6 e 8. Segundo os cálculos, o nível de eficiência energética das envoltórias alcançou o nível "A". Entretanto, apesar dos resultados positivos obtidos por meio da avaliação do ICenv dos edifícios escolares, a classificação final das envoltórias não atingiu o nível "A", devido às restrições contidas na avaliação dos pré-requisitos. Assim, a classificação foi a seguinte: Escola I: Nível "C", Escolas II e III: Nível "E".

4.5. Comparação dos desempenhos acústico, térmico e energético das envoltórias

Ao comparar os desempenhos acústico, térmico e energético das três edificações escolares estudadas, foram observadas algumas semelhanças e divergências (Quadro 2).

Quadro 2 – Quadro comparativo dos desempenhos avaliados.

DESEMPENHOS AVALIADOS	ASPECTOS	ESCOLA I	ESCOLA II	ESCOLA III
ACÚSTICO	ISOLAMENTO ACÚSTICO	☹	☹	☹
TÉRMICO	ADEQUAÇÃO VEDAÇÕES EXTERNAS	☺	☺	☺
	VENTILAÇÃO SALAS DE AULA	☹	☺	☺
	VÃOS MÍNIMOS PARA ABERTURAS	☹	☹	☺
	SOMBREAMENTO	☹	☹	☹
ENERGÉTICO	CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA	☹	☹	☹

Legenda: ☺ = Atende bem, ☹ = Atende parcialmente e ☹ = Não atende.

As constatações anteriormente tratadas indicaram que o desempenho acústico das escolas é insatisfatório, uma vez que o isolamento acústico necessário para garantir níveis recomendáveis de conforto acústico não foi atendido.

Quanto ao desempenho térmico, verificou-se que as escolas responderam de maneiras diferenciadas em relação aos aspectos avaliados. Desse modo, pode-se destacar a Escola I, que apresentou comportamento insatisfatório em relação ao aspecto do posicionamento das salas de aula em relação aos ventos predominantes e ao não atendimento aos vãos mínimos de abertura, já a Escola II, enquanto a ventilação nas salas de aula demonstrou-se satisfatória, os vãos mínimos para ventilação não foram atendidos. A Escola III destacou-se pelo atendimento aos aspectos relativos à ventilação e aos vãos mínimos de abertura. Há a necessidade de inserção de elementos de sombreamento eficientes das aberturas nas três edificações.

No que diz respeito ao desempenho energético, os pré-requisitos foram determinantes na classificação final. Desse modo, observa-se que a Escola I apresenta o melhor nível de eficiência energética da envoltória, com o alcance do nível “C”, enquanto as Escolas II e III alcançaram o pior nível, “E”.

Diante dos resultados obtidos referentes aos três desempenhos investigados no presente trabalho, apesar de alguns aspectos serem atendidos, observa-se que é necessário promover a melhoria nas edificações, tendo em vista a importância de soluções projetuais na determinação do conforto ambiental.

Ao estudar a adequação e o comportamento dos principais elementos e componentes construtivos, através das avaliações realizadas, foi possível compreender que as escolhas de certas estratégias causam impactos nos diversos aspectos relacionados ao desempenho da edificação.

5. CONCLUSÕES

Diante do estudo dos desempenhos acústico, térmico e da eficiência energética da envoltória das edificações escolares públicas avaliadas, os resultados apresentaram pouca integração entre as áreas investigadas. Os edifícios escolares estudados compõem um quadro, no qual se comprova, na maioria das vezes, a pouca preocupação com a qualidade do projeto arquitetônico dos ambientes educacionais, que visem um melhor desempenho dos alunos referenciando o conforto ambiental.

Nesse contexto, vale destacar a baixa qualidade em relação ao isolamento acústico. Projetos que levam em consideração o entorno e as fontes sonoras próximas (como o ruído de tráfego), além da disposição dos

ambientes em planta-baixa, favorece o conforto acústico, com a preocupação em proteger os recintos que requerem baixos níveis de ruído.

Através das avaliações referentes aos desempenhos térmicos das vedações externas, constatou-se o bom resultado quanto à utilização de cores predominantemente claras. No entanto, os resultados apontam a necessidade da melhoria do isolamento térmico das coberturas.

As classificações da eficiência energética da envoltória através do método prescritivo do RTQ-C (LABEEE *et al.*, 2012), com o alcance do nível “C” e “E”, reforçam a importância em atentar para alguns aspectos negativos quanto às soluções construtivas utilizadas, a exemplo do sombreamento insuficiente das aberturas.

Os resultados reforçam a importância e a influência das aberturas em relação ao desempenho dos edifícios. As aberturas podem ser eficientes quando concebidas como uma parte fundamental do projeto, buscando integrar e equilibrar os vários aspectos que tal componente tem sobre o desempenho da construção arquitetônica.

Em relação às limitações das ferramentas e métodos utilizados para realização do presente trabalho, vale frisar que foram empregados métodos de cálculo simplificados, a exemplo da predição do Isolamento Acústico, e da observação dos posicionamentos das edificações aos ventos predominantes. No entanto, em trabalhos futuros, pode-se utilizar ferramentas e métodos que possibilitem a obtenção de resultados mais precisos, como as medições *in loco*.

O conceito de arquitetura bioclimática aplicado aos edifícios escolares proporciona melhores condições ambientais, promovendo assim o mínimo de impacto ao meio ambiente e seus usuários. Os projetos escolares não podem ser consideradas como projetos comuns, pois exigem maiores reflexões e adequações para que seus espaços não tragam reflexos negativos para a sociedade que os utiliza.

Estudos que abordam de forma integrada os vários aspectos de conforto nos edifícios podem ser importantes na compreensão que busque uma visão global, com a consideração de cada um dos seus componentes, tanto pela sua função específica, quanto pela função que exerce no conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151** – Avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152** – Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179** – Tratamento Acústico em Recintos Fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações (partes 1, 2 e 3). Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** – Edifícios Habitacionais de até cinco Pavimentos – Desempenho (partes 1,4, e 5). Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- BITTENCOURT, Leonardo. **Introdução às cartas solares**. Maceió: Editora EdUFAL, 2004.
- AZEVEDO, Mariane Brito Azevedo. **Compatibilização do conforto acústico com o conforto térmico no ambiente construído**: Centros Integrados de Educação Pública. Rio de Janeiro, 2007. 177 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf> Acesso em: 14/11/09.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009**. Rio de Janeiro: [S.ed], 2009.
- DIAS, Adriana. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em Escola de Tempo Integral**: Estudo de Caso da Escola Padre Josimo em Palmas (TO). Brasília, 2009. 126 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.
- LABEEE *et al.* **Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Manual_V01b_25fev2013.pdf> Acesso em: 09 dez.2012.
- LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar**. Versão 6.2. 2011.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. UFSC/Procel/Eletróbrás, 1998.
- NIEMEYER, Maria Lygia; SLAMA, Jules Ghislain. O ruído e a cidade: elementos do ruído urbano. **Arquitetura Pesquisa & Projeto / Vicente del Rio**, organizador: prefácio: Liana de Ranieri da Silva Pereira – São Paulo: ProEditores; Rio de Janeiro: FAU UFRJ, 1998.
- SCHNEIDER, Mark. **do school facilities affect academic outcomes?** National Clearinghouse for Educational Facilities. Washington, USA, 2002. 24p. Disponível em: <<http://www.ncef.org/pubs/outcomes.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2013.