

ARTIGO DE REVISÃO

Otimização do conforto ambiental no espaço escolar: uma visão sustentável

Optimization of environment comfort in the school: a sustainable vision

Eduardo Goettert Burgos,¹ Giâne de Campos Grigoletti,¹ Dinara Xavier da Paixão.¹

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

Recebido em: abril 2015 / Aceito em: abril 2015
duduburgos@yahoo.com.br

RESUMO

Práticas sustentáveis no espaço escolar são ações importantes que visam à redução do consumo energético e de recursos naturais, as quais podem melhorar as condições de conforto ambiental de salas de aula, auxiliando no rendimento escolar e diminuindo riscos à saúde dos escolares. **Objetivo:** revisar práticas arquitetônicas sustentáveis que possibilitem otimizar as condições de conforto visual, térmico e acústico no espaço escolar. **Resultados:** com base na literatura, constata-se que a utilização da iluminação natural é uma das ferramentas sustentáveis mais importantes para melhorar o conforto visual em salas de aula. Para melhorar o conforto térmico, estratégias básicas de ventilação natural são fundamentais. A utilização de materiais naturais ou reciclados é uma alternativa aos materiais tradicionais para melhorar o conforto acústico. **Considerações finais:** a utilização de estratégias adequadas na concepção do projeto arquitetônico ou reestruturação de espaços construídos, bem como recorrer a materiais alternativos, melhoram o conforto ambiental de salas de aula e reduzem o impacto ambiental.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Conforto Ambiental; Escolares; Rendimento Escolar; Saúde.

ABSTRACT

*Sustainable practices at school buildings are significant actions that reach the reduction of energy consumption and natural resources. Furthermore these practices can improve user's comfort, school performance, health and wellbeing of pupils. **Objective:** review some more sustainable building practices that improve*

*visual, thermal, acoustical comfort at schools. **Results:** Based on analysis of scientific literature concerning to scope. The main results indicate daylighting and natural ventilation is the most significant strategy to enhance user's comfort. The use of materials such as natural or recycled fibers is a viable and more sustainable alternative to reach acoustic comfort. **Final considerations:** the use of more environmental sustainable strategies also provides better learning conditions and soundness places.*

Keywords: Sustainability, Environment Comfort, Students, School Performance, Health.

INTRODUÇÃO

O conforto ambiental, no espaço escolar, desempenha um papel fundamental na educação do aluno, podendo ter um efeito relevante sobre o seu desempenho, em termos de atenção, compreensão e aprendizagem. Além de afetar o desempenho nas aulas, ambientes que não apresentam conforto térmico, acústico e visual adequado podem ocasionar problemas de saúde que afetam diretamente a concentração e a memória¹. Sabendo-se que crianças e adolescentes passam grande parte do seu tempo na escola², é de suma importância fornecer ambientes adequados para que os mesmos possam desempenhar suas atividades de forma satisfatória³.

A utilização de práticas sustentáveis na elaboração de projetos arquitetônicos escolares ou na remodelação de seus ambientes é importante, pois além de exercer um impacto elevado no consumo de energia e de recursos naturais, auxilia também no aspecto cognitivo. Escolas ambientalmente sustentáveis propiciam um ambiente melhor para o aprendizado, fornecendo espaços com conforto térmico, acústico e visual⁴. Portanto, sabendo-se

que as características de construção de edificações escolares afetam o seu desempenho ambiental, a seleção de materiais construtivos e estratégias adequadas no momento da elaboração do projeto arquitetônico são fundamentais para a construção ou remodelação de um edifício escolar⁵.

Visando favorecer a melhoria da qualidade do ensino e a promoção da sustentabilidade socioambiental no espaço escolar, o Ministério da Educação publicou o "Manual Escolas Sustentáveis", que visa orientar a implementação da Resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013, a qual destina recursos financeiros a escolas públicas. Entre vários itens que podem ser financiados, destaca-se a adequação do espaço físico escolar, visando à melhoria do conforto térmico e acústico de salas de aula através de intervenções arquitetônicas⁶.

Diante da importância que o conforto térmico, visual e acústico exercem sobre o rendimento escolar e saúde de crianças e adolescentes, o presente artigo objetiva revisar práticas arquitetônicas sustentáveis que possibilitam otimizar as condições de conforto ambiental no espaço escolar.

Conforto ambiental em escolas

Para que um ambiente de uma edificação seja adequado e saudável para o usuário, as condições ambientais internas devem ser pensadas e projetadas para garantir o conforto térmico, visual e acústico⁷. Porém, o aumento da complexidade em edifícios escolares, para garantir aos usuários o conforto ambiental, está intensificando o consumo energético⁸. Edifícios escolares, em virtude de sua finalidade educativa, apresentam uma grande responsabilidade social⁹. Sabendo-se que edificações apresentam um alto consumo de energia, estratégias e técnicas alternativas de eficiência energética estão sendo utilizadas para garantir ambientes confortáveis e que conservem energia, com menor impacto ambiental⁵.

No que tange ao conforto térmico, mudanças moderadas na temperatura de um ambiente afetam as habilidades do aluno, como nas tarefas mentais que exigem concentração e compreensão. De forma geral, ambientes quentes tendem a reduzir o desempenho cognitivo do aluno, enquanto temperaturas mais baixas reduzem a destreza manual¹⁰. Assim, as condições térmicas em salas de aula devem ser pensadas e projetadas com cuidado, principalmente, devido à alta densidade de ocupação deste ambiente, bem como pela influência negativa que um ambiente térmico insatisfatório exerce na aprendizagem do aluno¹¹. O desconforto térmico pode estar associado, ainda, ao estresse físico (estresse térmico), ocasionando doenças¹².

Do mesmo modo, a ventilação de um ambiente também desempenha um papel importante na manutenção do conforto térmico e na qualidade do ar interno^{13,14}. Durante o verão, em situações em que as temperaturas exteriores são mais baixas do que as temperaturas de um ambiente interno, a ventilação pode remover o excesso da carga de calor produzida pela radiação solar incidente e pelas fontes internas, deixando o ambiente com uma temperatura mais adequada, além de facilitar as trocas térmicas por convecção entre o corpo humano e o ar circundante. No entanto, se a temperatura externa

exceder o nível de conforto exigido, pode-se fazer uso de áreas de arrefecimento da temperatura do ar externa antes de admitir a entrada deste, no ambiente, através de uso de vegetação projetada em ponto estratégicos junto às aberturas para captação do ar¹⁵. Se isso não for possível ou não for previsto, deve ser fornecido ao ambiente interno um sistema de refrigeração mecânica, o que pode representar aumento no consumo energético. No inverno, quando as temperaturas exteriores forem menores do que a temperatura interna, a ventilação natural remove a maior parte da carga de calor interno, bem como os ganhos de calor da radiação solar, levando ao processo de refrigeração do ambiente e promovendo a perda de conforto térmico¹⁶. O sistema de aquecimento e a disposição da ventilação apresentam uma relação muito estreita, sendo que uma abordagem mal integrada entre o aquecimento e a ventilação pode resultar em correntes de ar frio e desconforto para os ocupantes do ambiente. Dessa forma, a ventilação controlada e para fins somente higiênicos (captada de forma a não incidir sobre o corpo dos usuários), no inverno, é essencial¹⁷.

Para tanto, deve-se levar em consideração o clima da região para a elaboração do projeto arquitetônico, visando estratégias sustentáveis. Em regiões que possuem clima quente e úmido, por exemplo, a utilização do peitoril ventilado é uma fonte complementar do movimento do ar, considerada uma ferramenta importante para a redução do consumo de energia, pois estimula a climatização natural, podendo também atenuar o ruído do ambiente¹⁸.

Os aspectos de iluminação de uma sala de aula, por sua vez, podem promover desconforto visual e prejudicar o desempenho cognitivo do aluno nas aulas¹⁹. Estudos demonstram que a qualidade ou o tipo da luz, no ambiente escolar, apresentam influência na concentração e aprendizagem do aluno^{20,21}. O uso correto da luz do dia também pode promover a conservação de energia, criando um ambiente agradável para os alunos aprenderem e para os professores ensinarem¹².

A intensidade da luz é medida por meio da iluminação (lux) e, geralmente, o mínimo utilizado para criar uma iluminação suficiente para professores e alunos é de 500 lux, dada a falta de luz natural disponível nas salas de aula²². Porém, no Brasil, a NBR 5413 indica que as salas de aula tenham de 200 a 500 lux, dependendo de alguns parâmetros, como o nível de reflectância e contraste das tarefas e da capacidade visual do indivíduo, por exemplo²³. Dessa forma, a elaboração de um projeto escolar deve considerar o nível adequado de iluminação, de acordo com a média de idade dos usuários, a reflectância das superfícies da sala e o tipo de atividade desenvolvida²⁴.

Além disso, a visualização de uma tarefa depende da diferença entre o brilho das superfícies no campo de visão do usuário. Grandes diferenças demandam um tempo maior para a adaptação do olho, causando desconforto visual. Este problema pode ser evitado diminuindo a luminância de luminárias e janelas e aumentando a luminância de superfícies do interior da sala, de forma a homogeneizar as luminâncias, reduzindo contrastes indesejáveis²⁵.

No que tange ao conforto acústico, as escolas precisam de um bom isolamento contra o som indesejado

(ruído)²⁶; assim, o ambiente deve fornecer condições necessárias para propiciar o conforto acústico aos usuários. Para tanto, o condicionamento acústico deve ser levado em consideração na elaboração do projeto arquitetônico, pois objetiva adequar acusticamente um recinto fechado, proporcionando um ambiente com acústica adequada. Porém, devem-se levar em consideração os diferentes usos dos espaços, os quais exigem níveis de isolamento e condicionamento acústico distintos²⁷.

O tempo de reverberação é um dos principais parâmetros que deve ser levado em consideração para avaliar se o ambiente apresenta condições acústicas adequadas, o qual consiste no tempo em que as reflexões levam para diminuir em 60 dB após a fonte sonora cessar. Um tempo de reverberação elevado prejudica a comunicação dentro do ambiente²⁸, fornecendo uma medida de qualidade da audição do espaço interno²⁹. A adoção de superfícies internas adequadas, através da seleção de materiais que apresentam revestimento com coeficientes de absorção maiores, é uma estratégia importante que apresenta um impacto elevado sobre a inteligibilidade da fala³⁰.

Sustentabilidade no espaço escolar

As construções, em geral, geram um impacto muito grande sobre o ambiente, como, por exemplo, o elevado consumo de eletricidade e de água potável, emissão de dióxido de carbono (CO₂) e produção de resíduos. Porém, é possível reduzir os impactos através da tecnologia e do uso de materiais e técnicas disponíveis. Práticas sustentáveis em escolas, além de contribuírem com o ambiente, desempenham um papel moral e educacional, tanto sobre os alunos, bem como para a sociedade como um todo⁴.

Grande parte do consumo de energia de uma construção é utilizada para manter a temperatura interna adequada, através de sistemas de aquecimento e resfriamento. Porém, as propriedades térmicas da edificação podem ser melhoradas através da implantação do telhado verde, o qual consiste em um sistema de camadas, compreendendo uma membrana de impermeabilização, meio de cultura e de vegetação. Os telhados verdes auxiliam no arrefecimento, reduzindo a perda de calor latente, bem como melhoram a refletividade da radiação solar incidente. Assim, auxiliam no inverno, reduzindo a perda de calor do edifício, como também no verão, diminuindo o ganho de calor para dentro da edificação. Portanto, este sistema auxilia a manter a temperatura interna estável durante todo o ano, reduzindo o consumo anual de energia³¹, além de melhorar o conforto térmico do ambiente³².

A ventilação adequada também desempenha um papel importante na manutenção do conforto térmico de um ambiente¹³. Além disso, salas de aula com pouca ventilação e, conseqüentemente, com baixa qualidade de ar (elevada concentração de CO₂), prejudicam o ensino e a aprendizagem, pois reduzem a atenção dos alunos, afetando negativamente a memória e a concentração³³. Portanto, o uso de sistemas avançados de ventilação baseados na integração de estratégias básicas de ventilação natural, como o uso da ventilação cruzada, por exemplo, têm sido considerados elementos sustentáveis importantes na melhoria do conforto

térmico³⁴. Assim, o projeto arquitetônico deve levar em consideração a implantação da edificação no terreno, com o intuito de facilitar a ventilação natural e maximizar a ventilação cruzada, através da identificação dos ventos dominantes, dimensionando o tamanho adequado das aberturas, bem como alocando-as nos locais mais apropriados. O plantio de árvores paralelo ao perímetro do edifício também constitui estratégia para reduzir o calor, promovendo sombreamento da edificação e o arrefecimento da temperatura do ar externo a ser captado para o interior da edificação³⁵.

A ausência da luz solar em ambientes internos pode provocar o aumento da produção de melatonina pelo cérebro, causando sonolência. Além disso, a quantidade de melatonina produzida pelo corpo pode afetar a produção de hormônios, ocasionando diminuição da atividade física e mental, além de fadiga severa no aluno³⁶. Portanto, a utilização adequada da iluminação natural, além de proporcionar efeitos psicológicos e físicos benéficos para o indivíduo, é uma das ferramentas sustentáveis mais importantes para melhorar o conforto visual de espaços escolares³⁷.

A utilização de janelas constitui um sistema de iluminação lateral que, se projetada em tamanho adequado, reduz o consumo de energia elétrica³⁸. Quando combinada com vidros de alto desempenho, ou seja, que atendam as condições térmicas e visuais desejadas, e com controle automatizado da luz elétrica, contribui com a diminuição de 40% a 60% no consumo de energia. Para a concepção da fachada, as características dos vidros são fundamentais para a perda ou ganho de calor desejado, de acordo com o clima de cada região. Assim, deve-se levar em consideração: a) o coeficiente de ganho de calor solar, o qual representa a fração de energia solar incidente transmitida pela janela; b) taxa de fluxo de calor, devido à condução, convecção e radiação do calor; e c) transmitância visível, que considera a quantidade de luz natural que incide sobre o ambiente interno. Portanto, o vidro adotado deve ter equilíbrio entre as características térmicas e de iluminação natural, visando a sustentabilidade, aumentando a eficiência energética do ambiente^{4,39}. No momento da elaboração do projeto, o posicionamento correto das janelas, considerando o clima local, também é de suma importância para a maximização da luz natural^{40,36}.

A utilização de materiais sustentáveis, de origem natural ou reciclada, são alternativas válidas aos materiais sintéticos tradicionais para melhorar as condições acústicas de ambientes. Entre eles, destacam-se as fibras vegetais (linho, celulose e coco), bambu⁴¹ e palha, podendo ser utilizadas na fabricação de paredes e outros elementos construtivos²⁶, pelo fato de apresentarem boa absorção do som, semelhante à lã de vidro ou de rocha. Dessa forma, estes materiais podem ser utilizados acoplados em camadas, juntamente com repartições rígidas, ou como materiais absorventes, adequando o tempo de reverberação do ambiente, caso seja muito elevado. Além disso, esses materiais também mostram boas propriedades de isolamento térmico e não são prejudiciais à saúde humana⁴¹. A incorporação de resíduos elastômeros (borracha) em materiais construtivos também parece ser um meio promissor para melhorar as condições acústicas de ambientes⁴².

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conforto ambiental, com relação às condições térmicas, visuais e acústicas exerce influência sobre o rendimento escolar e saúde de crianças e adolescentes. Porém, as estratégias para melhorar o conforto ambiental dos espaços deve levar em consideração a sustentabilidade, pois as construções geram um impacto ambiental muito grande. Para tanto, a redução do uso de recursos naturais não renováveis, a escolha de materiais de menor impacto ambiental e com melhor eficiência energética, são de suma importância para a elaboração de projetos de novos espaços ou da remodelação dos mesmos.

A partir desta revisão, pode-se concluir que existem estratégias sustentáveis que podem melhorar o conforto térmico, acústico e visual de salas de aula. A melhor utilização da luz natural, implantação de sistema de ventilação natural e o uso de materiais naturais ou reciclados em elementos construtivos são medidas sustentáveis eficazes. Para otimizar o conforto ambiental no espaço escolar são necessários projetos bem elaborados, desde a sua concepção, que sejam capazes de garantir a possibilidade de desenvolvimento das estratégias sustentáveis.

Por fim, a sustentabilidade, no espaço escolar, deve ser vista também como forma educativa. Indivíduos devem estar expostos a um ambiente pensado na redução do consumo energético e dos recursos naturais para promover a conscientização ambiental desde a infância e adolescência.

REFERÊNCIAS

- Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 2005; 15:27-52.
- Corgnati SP, Filippi M, Viazzo S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Build Environ*, 2007; 42:951-959.
- Janesch M. Educação infantil: a importância da iluminação e cor no desempenho e aprendizado da criança. *Especialize* 1-15, 2013.
- Gelfand L. Sustainable school architecture. New Jersey, USA: John Wiley; 2010. 352 p.
- Katafygiotou MC, Serghides DK. Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school. *Energy Build*, 2014; 72:8-16.
- Brasil. Ministério da Educação. Manual Escolas Sustentáveis. Brasília: Ministério da Educação, 2013.
- Oral GK, Yener AK, Bayazit NT. Building envelope design with the objective the ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Build Environ*, 2004; 39(3):281-7.
- Lourenço P, Pinheiro MD, Heitor T. From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings. *Energy Build*, 2014; 85: 212-224.
- Pereira LD, Raimondo D, Corgnati SP, Silva MG. Energy consumption in schools – A review paper. *Renew Sustainable Energy Rev*, 2014; 40:911-922.
- Zeiler W, Boxem G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Build Environ*, 2009; 44(11):2308-2317.
- Wong NH, Khoo SS. Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy Build*, 2003; 35(4):337-351.
- Krüger EL, Zannin PHT. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Build Environ*, 2004; 39(9):1055-1063.
- Lee MC, Mui KW, Wong LT, Chan WY, Lee EWM, Cheung CT. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. *Build Environ*, 2012; 49:238-244.
- Haverinen-Shaughnessy U, Moschandreas DJ, Shaughnessy RJ. Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor Air*, 2011; 21: 121-131.
- Lamberts R, Dutra L, Pereira FOR. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás; 2014. 366 p.
- Becker R, Goldberger I, Paciuk M. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. *Build Environ*, 2007; 42(9):3261-3276.
- Mumovic D et al. Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. *Build Environ*, 2009; 44(7):1466-1477.
- Oiticica MLGR. Desempenho acústico de diferentes tipologias de peitoris ventilados [tese]. [Campinas]: Universidade Estadual de Campinas; 2010. 240 p.
- Winterbottom M, Wilkins A. Lighting and discomfort in the classroom. *J. Environ. Psychol*, 2009; 29(1):63-75.
- Slegers PJC, Moolenaar NM, Galetzka M, Pruy A, Sarroukh BE, van der Zande B. Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting Res Technol*, 2013; 45:159-175.
- Hathaway WE. Effects of school lighting on physical development and school performance. *J Educ Res*, 1995; 88(4):228-242.
- Mott MS, Robinson DH, Walden AS, Burnette J, Rutherford AS. Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning. *SAGE Open* 2011.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5413: iluminação de Interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- Zannin P, Krüger EL, Dorigo AL. Acoustic and luminic evaluations in classrooms in Curitiba, Brazil. *Indoor Built Environ*, 2008; 17:203-212.
- Bertolotti D. Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia [dissertação]. [São Paulo]: Universidade de São Paulo; 2007. 144 p.
- Deverell R, Goodhew S, Griffiths R, de Wilde P. The noise insulation properties of non-food-crop walling for schools and colleges: a case study. *J Build Apprais*. 2009; 5:29-40.
- Marros F. Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical [dissertação]. [Santa Maria]: Universidade Federal de Santa Maria; 2011. 148 p.
- Kristiansen J, Lund SP, Persson R, Shibuya H, Nielsen PM, Scholz M. A study of classroom acoustics and school teachers' noise exposure, voice load and speaking time during teaching, and the effects on vocal and mental fatigue development. *Int Arch of Occup Environ Health*. 2014; 87(8):851-860.
- Ratnam R, Jones DL, Wheeler BC, O'Brien WD Jr, Lansing CR, Feng AS. Blind estimation of reverberation time. *J Acoust Soc Am*. 2003; 114(5):2877-2892.
- Zannin PHT, Ferreira AMC, Sant'Ana DQ. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes.

- Ambient Constr, 2009; 9(3):125-39.
31. Castleton HF, Stovin V, Beck SBM, Davison JB. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy Build*, 2010; 42(10):1582-1591.
 32. Jim CY, Tsang SW. Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Build Environ*, 2011; 46(6):1263-1274.
 33. Bakó-Biró Zs, Clements-Croome, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Build Environ*, 2012; 48:215-223.
 34. Mavrogianni A, Mumovic D. On the use of windcatchers in schools: climate change, occupancy patterns, and adaptation strategies. *Indoor Built Environ*, 2009; 19(3):340-54.
 35. Huang K-T, Huang W-P, Lin T-P, Hwang R-L. Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. *Build Environ*, 2015; 86:141-150.
 36. Grierson D, Hyland C. Learning Lessons from the Scottish School Building Programme: Providing an Accessible, Sustainable Environment for 21st Century Education. *Inter J Environ Sustain*, 2012; 8(1):63-76.
 37. Abdelatia B, Marenne C, Semidor C. Daylighting strategy for sustainable schools: case study of prototype classrooms in Libya. *J Sustain Develop*, 2010; 3(3):60-67.
 38. Gago EJ, Muneer T, Knez M, Köster H. Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. *Renew Sustainable Energy Rev*, 2015; 41:1-13.
 39. Ford A. *Designing the sustainable school*. Mulgrave, Austrália: Images Publishing; 2007. 256 p.
 40. Ramli NH, Masri MH, Taib MZHM, Hamid NA. A comparative study of green school guidelines. *Procedia Soc. Behav. Sci*, 2012; 50:462-471.
 41. Asdrubali F, Schiavoni S, Horoshenkov KV. A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building Acoustics*, 2012; 19(4):283-312.
 42. Benkreira H, Khan A, Horoshenkov KV. Sustainable acoustic and thermal insulation materials from elastomeric waste residues. *Chem Eng Sci*, 2011; 66:4157-71.