



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL E EMISSÕES DE CO₂: ESTUDO DE CASO PARA UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR LOCALIZADA EM GOIÂNIA – GO¹

PAULSE, Pablo (1); CALDAS, Lucas (2); SPOSTO, Rosa (3); HORA, Karla (4)

(1) UFG, e-mail: pablo.pause@gmail.com; (2) COPPE/UFRJ, e-mail:
lrc.ambiental@gmail.com; (3) UnB, e-mail: rmsposto@unb.br; (4) UFG, e-mail:
karlaemmanuela@gmail.com

RESUMO

As edificações públicas ocupam lugar de destaque visto que parte do consumo de energia e emissões nestas edificações é originada a partir do condicionamento ambiental, na maioria dos casos destinadas a climatização dos ambientes, estando, assim, relacionado ao desempenho térmico da envoltória da edificação. Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar o impacto de duas especificações de vedação vertical externa, para um projeto padrão de edificações escolares localizadas em Goiânia – GO, a partir da quantificação das emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida da edificação. Foram avaliados dois tipos de sistemas, o primeiro composto de tijolos maciços aparentes, com reboco interno (especificação original) e o segundo de blocos cerâmicos furados com reboco externo e interno. O método utilizado baseou-se na avaliação do ciclo de vida, com foco na pegada de carbono utilizando o software DesignBuilder para a simulação termoenergética. A partir dos resultados foi possível concluir que o sistema original apresentou maior valor de emissões de CO₂. Desta maneira, a principal contribuição deste estudo consistiu-se em apresentar a possibilidade de substituição de componentes e processos construtivos semelhantes, com desempenho térmico superior, para diminuir emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida das edificações.

Palavras-chave: Vedação vertical. Desempenho térmico. Emissões de CO₂. Edificação escolar.

ABSTRACT

Public buildings occupy a prominent place since the energy consumption and emissions in these buildings are originated from environmental conditioning, in most cases for air conditioning, this aspect is related to the thermal performance of the envelopment of the building. In this context, this study aimed to assess the impact of two external vertical walls specifications for a standard school building project located in Goiania - GO, from the measurement of CO₂ emissions over the building life cycle. We evaluated two types of systems, the first consisting of apparent solid brick, with interior plasterwork (original specification) and the second made of ceramic blocks with external and internal plastering. The method used was the assessment of the life cycle, focusing on the carbon footprint using DesignBuilder software for thermal energetic simulation. From the results it was concluded

¹ PAULSE, Pablo; CALDAS, Lucas; SPOSTO, Rosa; HORA, Karla. Impacto do desempenho térmico do sistema de vedação vertical nas emissões de CO₂: estudo de caso para uma edificação escolar localizada em Goiânia – GO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

that the original system showed higher CO₂ emissions. Thus, the main contribution of this study was to show that it is possible to use similar components and construction processes, with superior thermal performance, to reduce CO₂ emissions throughout the life cycle of buildings.

Keywords: Wall system. Thermal performance. CO₂ emissions. Scholar building.

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global pode ser considerado o maior e mais preocupante problema ambiental, em escala mundial, da atualidade. Os chamados gases do efeito estufa (GEE) gerados nas atividades antrópicas são apontados como os principais causadores deste problema e, entre eles, o dióxido de carbono (CO₂) pode ser considerado o mais impactante (JOHN, 2010; GOLDEMBERG; LUCON, 2011).

O setor da construção civil, com destaque para a área de edificações, é responsável por uma parcela importante do consumo de energia e emissões de CO₂, seja na etapa de extração e fabricação dos materiais e componentes de construção utilizados, seja na operação e manutenção da edificação.

Como já verificado em outros estudos, como o de Huberman e Pearlmutter (2008), Taborianski e Prado (2012), Radhi e Sharples (2013), Rakhshan *et al.* (2013), Brás e Gomes (2015) e Oliveira (2015) o melhor desempenho térmico das fachadas das edificações resultaram na economia de energia, para o condicionamento ambiental, e consequente redução das emissões de CO₂ durante a etapa operacional da edificação.

No entanto, a realidade internacional é diferente da brasileira, pois parte considerável da energia gasta para o condicionamento de edificações localizadas na Europa, por exemplo, são voltadas para o aquecimento.

Os estudos citados avaliaram diferentes sistemas construtivos e materiais, como blocos cerâmicos, de concreto, como também o uso de isolantes térmicos. No entanto, ainda são poucos estudos que avaliaram o impacto do desempenho térmico de sistemas construtivos similares, compostos de materiais semelhantes.

A utilização de sistemas construtivos com elementos e materiais de construção semelhantes é vantajosa, pois, normalmente não impactarão de forma significativa nos custos e na mão de obra necessária para a execução. Enquanto sistemas industrializados, além do processo e logística serem diferentes de sistemas convencionais, podem apresentar diferenças nos custos.

Em relação ao consumo de energia elétrica, no Brasil, o setor público representa 3,2% de participação no total nacional em 2015 (BEN, 2015). Em Goiânia, município com mais de 1,3 milhão de habitantes e capital do Estado de Goiás, o setor público é responsável por aproximadamente 5% do consumo de toda energia elétrica do município e apresentou um crescimento de 7% entre o ano de 2013 e 2014. (IMB, 2016).

Segundo Lamberts *et al.* (2007), nas edificações comerciais e públicas, o

condicionamento de ar representa aproximadamente 47% do total de energia elétrica, seguido pela iluminação artificial, representando 22%.

Considerando este contexto, o estudo buscou avaliar o desempenho térmico de diferentes de sistemas de vedações verticais entre duas especificações de vedação vertical externa a partir da quantificação das emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida de uma edificação escolar municipal padrão localizada no município de Goiânia – GO.

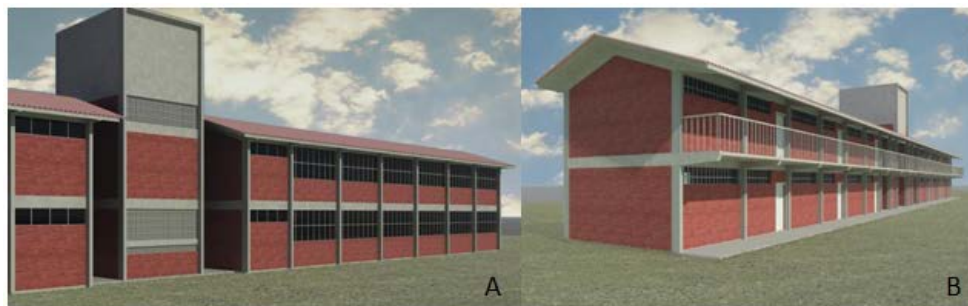
Parte-se do pressuposto que a avaliação térmica de edifícios públicos produzindo novas recomendações poderá estimular o setor da construção a adotar padrões construtivos com menor impacto tanto no consumo energético quanto na emissão de GEE.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da edificação escolar

A edificação escolar estudada se localiza em Goiânia – GO e trata-se de um projeto padrão de bloco de salas de aula adotadas para edifícios escolares pela prefeitura, sendo, portanto, replicado em diferentes terrenos. Ela possui área construída de 987,56 m², consta de vedações verticais de tijolos cerâmicos aparentes, com dois pavimentos e doze salas de aula e quatro sanitários, além das áreas de circulação, conforme representação na Figura 1.

Figura 1 – Edificação escolar padrão do município de Goiânia. (A) Fachada frontal; (B) Fachada posterior



Fonte: Os autores a partir do Autodesk Revit

A envoltória da edificação possui área total de planos verticais de 801,80m², sendo 622,52m² de paredes ou superfícies opacas e 179,28m² de aberturas ou superfícies envidraçadas. As aberturas não dispõem de elementos de proteção solar, como brises ou telas, apenas o beiral da cobertura oferece uma proteção pequena para as salas de aula localizadas no pavimento superior, o que não foi considerado para esse estudo. As vedações verticais externas correspondem a quase 80% da área da envoltória da edificação, justificando a escolha deste sistema.

2.2 Definição dos sistemas de vedação vertical segundo os critérios de desempenho térmico

Foi adotado como alternativa para o sistema original da edificação, o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos furados, assentados na menor dimensão. Este sistema foi escolhido por dois fatores: (1) por ser um sistema construtivo típico da região, e, portanto, bastante difundido; (2) consegue atender o critério de desempenho térmico para vedações verticais externas (VVE) definida na NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para a zona bioclimática nº 6, onde a cidade de Goiânia – GO está localizada.

Para esta norma ser atendida, a VVE deve possuir um valor de transmitância térmica (U) menor que 2,5 W/m².K (para qualquer cor de pintura) e capacidade térmica (Ct) maior que 130 kJ/m².K. Para a especificação dos sistemas construtivos no software *DesignBuilder*, o sistema P1 (parede padrão) e o P2 (parede proposta) foram calculados os valores de U, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Sistemas de vedação vertical avaliados

| Sigla | Descrição sistemas | U (W/m ² .K) |
|-------|---|-------------------------|
| P1 | Parede padrão: parede rebocada somente na parte interna com tijolo cerâmico maciço espessura de 12 cm, assentado na menor dimensão, com espessura total de 15 cm. | 3,02 ¹ |
| P2 | Parede proposta: parede rebocada dos dois lados (interno e externo) com bloco cerâmico de 8 furos (9x19x19 cm) assentado na menor dimensão, com espessura total de 14 cm. | 2,49 ² |

¹ Valores de U calculados com base no procedimento da NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

² Valores de U retirados da NBR 15220-3(ABNT, 2005).

Fonte: Os autores

2.3 Avaliação do ciclo de vida com foco na pegada de carbono

O escopo adotado na avaliação foram as etapas de pré-uso (extração e processamento dos materiais e componentes – ECO₂I, transporte dos materiais e componentes – ECO₂T) e uso (operação da edificação).

Não foi adotada a etapa de manutenção visto que ambos os sistemas são compostos por materiais cerâmicos e argamassa e, por essa razão, possuem durabilidade e vidas úteis semelhantes.

A unidade funcional adotada foi a edificação completa, considerando somente as vedações verticais externas e o consumo de energia para o condicionamento ambiental (aparelhos de climatização) e iluminação das salas de aula. Foi adotada uma vida útil de 50 anos para a edificação, por ser este o valor mínimo presente na norma de desempenho para edificações, a ABNT NBR 15575-1: 2013.

Para a etapa de pré-uso foram pesquisados dados de emissões de CO₂ na fabricação e processamento dos materiais e componentes utilizados na

vedação vertical, conforme apresentado no Quadro 2, adotando-se a média dos valores encontrados. Foram consideradas as perdas dos materiais durante a execução da edificação, sendo 13% de perda para os blocos e tijolos cerâmicos e 18% para argamassa (AGOPYAN; SOUZA, 1998).

Quadro 2 – Inventário de dados de emissões de CO₂ dos materiais e componentes

| Referências (Ano) - País | Argamassa (kgCO ₂ /kg) | Bloco cerâmico (KgCO ₂ /kg) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Soares <i>et. al</i> (2002) - Brasil | - | 0,33 |
| Stachera e Casagrande (2007) - Brasil | - | 0,38 |
| Nabut Neto (2011) - Brasil | 0,21 | - |
| Costa (2012) - Brasil | 0,16 | 0,91 |
| Média | 0,19 | 0,47 |

Fonte: Os autores

Foi realizada a quantificação dos componentes e materiais em massa, considerando as vedações verticais externas da edificação escolar. A média dos fatores de emissões, apresentados na Tabela 1, foi multiplicada pela massa encontrada, resultando nas emissões de CO₂ iniciais ou incorporadas (ECO₂I). Por falta de dados específicos, foi considerada a mesma quantidade de emissões de CO₂ no processo produtivo dos tijolos e blocos cerâmicos.

Para etapa de transporte foi empregado o método utilizado por Nabut Neto (2011) e Caldas *et al.* (2015). Foi definido um local fictício do canteiro de obras em uma região central do município de Goiânia. Para a seleção das fábricas, foram consultadas aquelas em conformidade com o Programa Setorial da Qualidade – PSQ (Brasil, 2015a; 2015b), de blocos cerâmicos e foram selecionadas aquelas com a menor distância até a localização do canteiro de obras. Na etapa de transporte também foram consideradas as perdas. Os resultados encontrados foram identificados como emissões de CO₂ do transporte (ECO₂T).

Foram somados os valores de ECO₂I e ECO₂T encontrados, resultando nas emissões de CO₂ da etapa de pré-uso (ECO₂P).

As emissões da etapa operacional (ECO₂O) foram quantificadas a partir do consumo de energia obtido na simulação termoenergética. O valor encontrado foi multiplicado pelo um fator de correção (FC), que converte a energia secundária (obtida da rede) em energia primária (obtida na fonte), para a contabilização das perdas de transformação e distribuição. Foi utilizado o FC de 1,67, obtido do BEN (2015).

Este resultado foi multiplicado pelo fator de emissões de CO₂, também obtido no BEN (2015), a partir da matriz elétrica brasileira, de 0,036 kgCO₂/MJ. Por fim, o resultado foi multiplicado pela vida útil da edificação.

As emissões totais de CO₂ (ECO₂TOT) foram encontradas somando os valores de ECO₂P e ECO₂O.

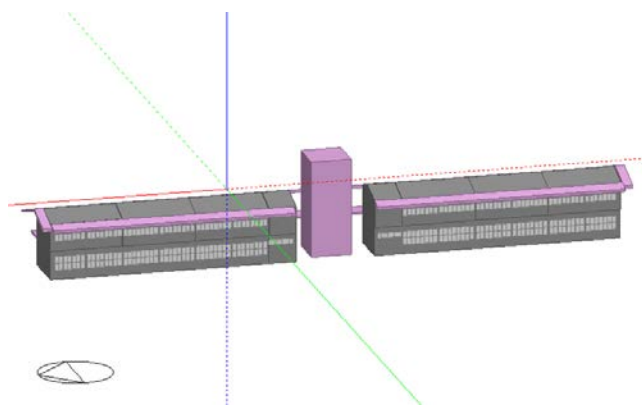
2.4 Simulação termoenergética no software DesignBuilder

Para a simulação termoenergética foi utilizado o software *DesignBuilder* v4.6.0.015.

Como a edificação está localizada na cidade de Goiânia tentou-se, primeiramente, buscar os arquivos climáticos para esta cidade. Ao se constatar a ausência do mesmo, adotou-se, como referência, arquivo climático de município pertencente à mesma zona bioclimática (ZB-6), que apresentassem temperaturas e umidade relativas médias mensais semelhantes.

Para isto, foi utilizada a ferramenta digital “Projetando Edificações Energeticamente Eficientes” – ProjeteEEE (BRASIL; UFSC, 2015). A cidade que mais se aproximou de Goiânia e que ao mesmo tempo possui dados climáticos disponíveis no LabEEE, na extensão EPW (*Energyplus Weather Data*), foi a cidade de Pires do Rio - GO. A edificação modelada no software é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Edificação escolar padrão do município de Goiânia



Fonte: Os autores a partir do DesignBuilder

Para a orientação da edificação foi selecionada aquela que apresentasse as condições mais desfavoráveis para as salas de aula, sendo definida a fachada envidraçada das salas de aula voltadas para a orientação oeste, conforme apresentado na Figura 2.

Para a composição dos sistemas foram adotados os valores de condutividade térmica, massa específica e calor específico dos materiais (cerâmica e argamassa) a partir da NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Pelo fato do

sistema P2 ser heterogêneo² e o software, DesignBuilder, não fazer esta diferenciação, os sistemas foram montados como camadas de componentes homogêneos. Para amenizar esta limitação, foi utilizado o recurso do software chamado de “set U-value” para fixar o valor da transmitância térmica dos sistemas de vedação (conforme os valores apresentados no Quadro 1). Dessa forma, a camada de material cerâmico (bloco cerâmico) tem sua espessura aumentada automaticamente para atingir o valor de U predefinido.

Para iluminação foram consideradas 16 lâmpadas fluorescentes de 40W por sala de aula (de acordo com a especificação do projeto), o que resultou na densidade de potência luminosa de 13,3 W/m².

Para a definição da temperatura neutra de conforto térmico, a temperatura de *setpoint* dos aparelhos de condicionamento ambiental, foi comparada duas temperaturas. Primeiramente a definida por Givoni (1992), de 29°C, limite máximo de conforto para países em desenvolvimento, que também foi utilizado em outros estudos como o de Maciel (2013) e Oliveira (2015).

Foi avaliado também o modelo proposto pela regulamentação europeia EN 15251 (CEN, 2007), que define neutralidade térmica (TN) como $TN = 18,8 + 0,33 TRM$. Sendo que TRM é a média das temperaturas diárias, considerando uma variação de 3°C, para que 90% dos usuários fiquem satisfeitos. Este método foi utilizado por Cotta e Vieira (2015). A TN obtida foi de 29,37°C, e ao final adotou a temperatura de 29°C, por ser o pior caso.

Para a comparação do desempenho térmico foram avaliadas as temperaturas internas da edificação para os sistemas P1 e P2 para o dia típico de verão, 18/09, definido na NBR 15575 – 1 (ABNT, 2013), para a sala 8 (Figura 3), a que apresentou situação mais crítica segundo esse aspecto.

Figura 3 – Planta baixa com a indicação da Sala 8



Fonte: Os autores

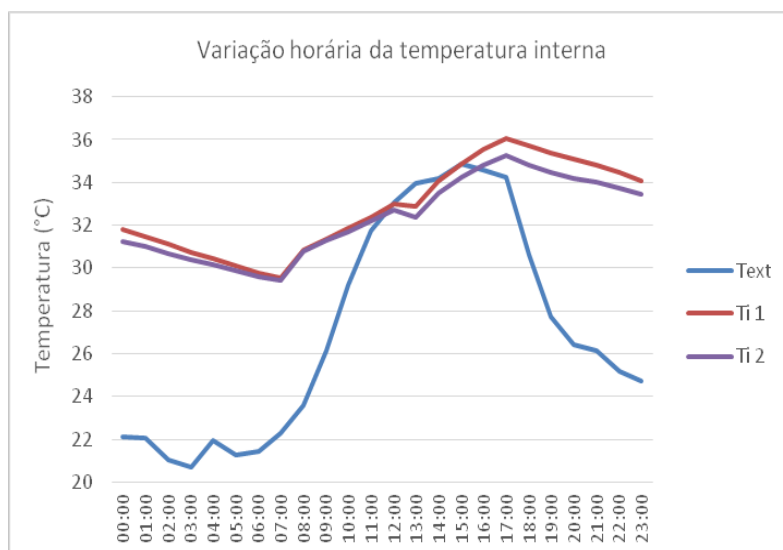
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do desempenho e conforto térmico

Os resultados da avaliação do desempenho térmico da sala de aula estão apresentados na Figura 4.

² De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), o Componente é heterogêneo quando é formado por diferentes materiais superpostos em “n” camadas paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor).

Figura 4 – Comparação da variação horária da temperatura interna na sala de aula para o dia típico de verão na cidade de Goiânia - GO



Text – temperatura externa

Ti 1 – temperatura interna do sistema P1

Ti 2 – temperatura interna do sistema P2

Fonte: Os autores

Observa-se que o sistema P2 apresentou temperaturas internas inferiores aos sistemas P1 para todas as horas do dia típico de verão, devido ao seu melhor desempenho térmico. Esta diferença influenciará no conforto térmico dos usuários e conseqüentemente no consumo de energia do aparelho de climatização e nas emissões de CO₂.

De posse dos valores das temperaturas internas horárias, geradas na simulação termoenergética, foi possível calcular o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto (POC) e o consumo de eletricidade anual para a edificação, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Consumo de energia e percentual de horas ocupadas em conforto (POC)

| Sistemas de Vedação | Energia MWh/ano | POC (%) |
|---------------------|-----------------|---------|
| P1 | 44,6 | 57,8 |
| P2 | 43,2 | 61,6 |

Fonte: Os autores

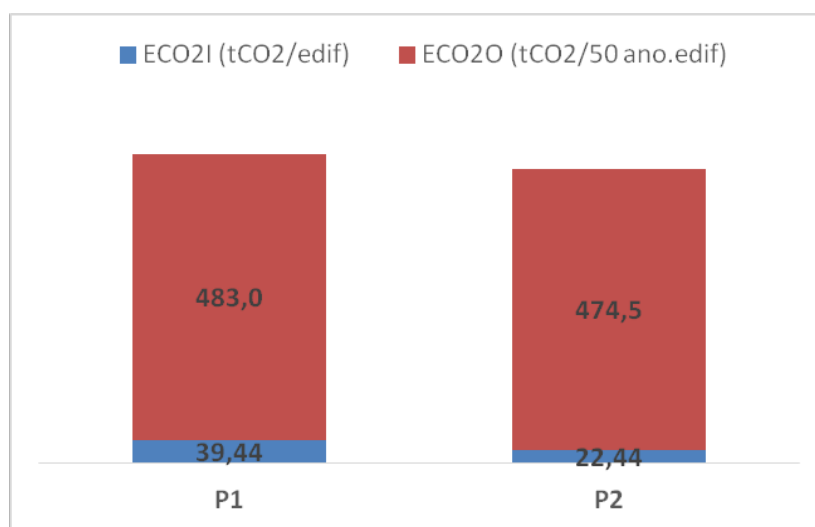
Nota-se que a edificação com o sistema P1 apresentou um menor percentual de horas de conforto o que resultou em um maior consumo de energia elétrica, com uma diferença de aproximadamente 3%.

3.2 Quantificação das emissões de CO₂

A quantificação das emissões de CO₂ para os sistemas P1 e P2 está

apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Comparação das emissões de CO₂ para os dois sistemas de vedação vertical



Fonte: Os autores

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o sistema P2 apresentou menor quantidade total de emissões de CO₂, 496,9 tCO₂, enquanto o sistema P1 apresentou maior quantidade, de 522,4 tCO₂. É possível notar que, além de utilizar um sistema com menor quantidade de emissões na etapa de pré-uso, como foi o caso do sistema P2, é possível ter um melhor desempenho térmico do sistema de vedação vertical, contribuindo ainda mais para a redução da quantidade de emissões totais.

Estes resultados são similares aos encontrados por Brás e Gomes (2015), que avaliaram a redução do consumo de energia e emissões de carbono para uma edificação escolar em Portugal. Este edifício foi revitalizado com uma argamassa de menor impacto ambiental e ao mesmo tempo com melhor desempenho térmico.

Outro fato a ser destacado é que o sistema P1, por não ser revestido externamente pela camada de argamassa, provavelmente apresentará menor vida útil e conseqüente mais emissões para a substituição dos componentes ao longo do ciclo de vida da edificação.

Observa-se que a etapa operacional foi a mais impactante ao longo do escopo considerado, correspondendo à aproximadamente 90% das emissões de CO₂, próximo aos valores apresentados por estudos nacionais como o de Taborianski e Prado (2012) e internacional como Peng (2016).

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que, após avaliar duas diferentes especificações de sistemas de vedações verticais externas, o sistema mais vantajoso, do ponto de vista de emissões de CO₂, é aquele composto por blocos cerâmicos furados assentados na menor dimensão. Este sistema, também, apresentou melhor

desempenho térmico, sendo superior ao sistema padrão adotado nas edificações escolares em Goiânia.

Desta forma, deve ser pensado, em nível de gestão municipal, em um projeto que contemple outro sistema de vedação vertical externa para a edificação escolar padrão do município de Goiânia – GO, sendo que o sistema P2 apresentado resultou num desempenho térmico superior e ao mesmo tempo com quantidade de emissões menor que o sistema P1, original.

Este estudo foi importante por mostrar que um sistema construtivo semelhante, composto de materiais cerâmicos e argamassa e, portanto, com menor diferença nos custos e mão de obra quando comparado ao atual sistema padrão, pode proporcionar um melhor desempenho térmico da edificação e ao mesmo tempo diminuir as emissões de carbono.

Outro dado importante é o fato da edificação estudada ser um projeto padrão do município e desta forma os resultados apresentados podem ser aplicados na escala municipal e expandidos para outros tipos de edificações públicas.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L (Coord). **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: FINEP, 1998. 189p.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). **Relatório Síntese ano base 2014**. Brasília-DF, 2015.

BRÁS, A.; GOMES, V. LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitations of school buildings. **Energy and Buildings**. v. 92. p. 1 – 9. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Setorial da Qualidade. **PSQ Blocos Cerâmicos**. 2015 a. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq2.php?id_psq=72>. Acesso em 22/07/2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Setorial da Qualidade. **Cimento**. 2015 a. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psq2.php?id_psq=72>. Acesso em 22/07/2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; UFSC; LABEEE. **ProjetEEE: Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: <http://projeteee.ufsc.br/>. Acesso em 06/05/2015.

ELETOBRÁS; PBE EDIFICA; INMETRO. Site Etiqueta PBE Edifica. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/>. Acesso em 06/05/2015.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J. S.; SANTOS FILHO, V. M. Emissões de CO₂ no Ciclo de Vida de Habitações de Interesse Social: Estudo de Caso Para o DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO - INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 9., 2015, São Carlos. **Anais ...** São Carlos: UFSCAR, 2015.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). **EN 15251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of building addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Brussels, 2007.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Engenharia Civil. UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

COTTA, J. O.; VIEIRA, J. L. O desempenho térmico de ambientes de trabalho nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. In: GONÇALVES, J. K.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. Cap. 3. p. 79 -102. 2015.

GIVONI, B. Confort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. v. 18, p. 11-23.1992.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**. v 40. p. 837-848. 2008.

INSTITUTO MAURO BORGES (IMB). **Estatísticas Municipais**. Energia Elétrica no Poder Público. Disponível em: <<http://www.imb.gov.br/>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

JOHN, V. M. Materiais de construção e o meio ambiente. In: ISAIA, G (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2.ed. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 97-121.

KIM, K. H. A comparative life cycle assessment of a transparent composite façade system and a glass curtain wall system. **Energy and Buildings**. v.43. n. 12. p. 3436-3445. 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). Dados **Climáticos**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>> Acesso em: 13 ago. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2007.

MACIEL, A. C. F. **Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil. UnB, Brasília, 2013.

NABUT NETO, A.C. **Energia Incorporada e Emissões de CO₂ de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil. UnB, Brasília, 2011.

- OLIVEIRA, L. B. **A influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR, Curitiba, 2015.
- PENG, C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. **Journal of Cleaner Production.** v. 112. p. 453-465. 2016.
- RADHI, H., SHARPLES, S. Global Warming implications of façade parameters: A life cycle assessment of residential buildings in Bahrain. **Environmental Impact Assessment Review.** v. 38. p. 99-108. 2013.
- RAKSHAN, K.; FRIESS, W. A.; TAJERZADEH, S. Evaluating the sustainability of improved building insulation: A case study in the Dubai residential environment. **Building and Environment.** v.67. p. 105-110. 2013.
- SOARES, S.R.; PEREIRA, S.W.; BREITENBACH, F.E. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção civil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 28., 2009, Cancún, México. **Anais ...** Cancún: 2002.
- STACHERA JR, T. CASAGRANDE JR, E.F. Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 9., 2007, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: UFPR, 2007.
- TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. Methodology of CO₂ emission in the life cycle of office building façades. **Environmental Impact Assessment Review.** v. 33. n. 1. p. 41-47. 2012.