



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS) COM ALVENARIA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PRODUZIDOS COM REJEITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ARACAJU/SE**

**Maria Paula Dunel (1); Carla Fernanda Teixeira Barbosa (2).**

(1) Arquiteta e Urbanista, Professora Substituta do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Sergipe, pauladunel@hotmail.com, Alameda dos Sombrieros, 179, Caminho das Árvores, Salvador, Bahia, (71) 98261-8078.

(2) Arquiteta e Urbanista, Docente Adjunta do PROEC-UFS, cafbt@yahoo.com.br, Universidade Federal de Sergipe, campus José Aloísio de Campos - Av. Mal. Cândido Rondon, s / n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000, 079-3194-7576.

### **RESUMO**

A crescente urbanização e a industrialização das sociedades modernas têm gerado a produção em grande escala de resíduos sólidos, constituindo a proliferação destes, portanto, um problema a nível mundial, com consequências imediatas à saúde pública e ao meio ambiente. Os resíduos sólidos urbanos devem ser geridos e controlados de forma a reduzir o seu volume e periculosidade, minimizando os prejuízos da poluição ambiental e os impactos sobre a saúde das populações. Atualmente, as técnicas de controle de resíduos mais comuns são a reciclagem e a compostagem. Tais técnicas são conhecidas como ferramentas que possibilitam o aproveitamento dos resíduos. Neste contexto, a utilização de materiais recicláveis na construção civil vem crescendo dia a dia. No entanto, no Brasil, não foi encontrada abordagem referente a algum material para a construção civil que tenha como base o resíduo sólido domiciliar, como é o caso do tijolo ecológico. Neste trabalho, foi analisado o conforto térmico do tijolo ecológico, um tijolo de baixo impacto ambiental e de fácil aplicabilidade, que pode ser utilizado na melhoria do conforto térmico das construções brasileiras em geral, inclusive nas habitacionais para a população de baixa renda. O principal objetivo do estudo foi verificar a eficácia do tijolo ecológico quanto ao conforto térmico. A metodologia consiste em se mensurar o conforto térmico em um modelo de referência de residência de baixa renda, com alvenaria de tijolos ecológicos produzidos com rejeitos de RSU, logo foram realizadas alterações no envelope, como o acréscimo de argamassa de revestimento e pintura de cor branca e a substituição da alvenaria de tijolo ecológico pela alvenaria de tijolo maciço cerâmico com e sem revestimento com o fim de comparar os valores de temperatura interna da residência. A mensuração foi realizada por simulação computacional com o *software EnergyPlus®* utilizando o protótipo em escala real da casa padrão popular brasileira, no dia típico de verão. Nos resultados, notou-se que a residência de tijolos ecológicos obteve uma diferença de temperatura sensível, em comparação a residência de tijolos maciços cerâmicos, o protótipo construído com tijolo ecológico contribuiu para melhores condições de conforto térmico, pois proporcionou menores temperaturas internas, e, conseqüentemente, menor ganho de calor. Portanto, constatou-se alteração nos valores de transmitância e atraso térmicos referentes ao comportamento das alvenarias nos diferentes ambientes da edificação. Quanto à influência do acréscimo da argamassa de revestimento e da pintura externa com cor clara, nota-se que houve significativa melhoria do desempenho térmico das alvenarias. Portanto, para melhor conforto térmico dos usuários das edificações da zona bioclimática-8, é indicado que a vedação composta por tijolos ecológicos seja rebocada e tenha a sua fachada pintada com cores claras.

Palavras-chave: simulação computacional, conforto térmico, tijolo ecológico, resíduos sólidos urbanos.

## ABSTRACT

The increasing urbanization and industrialization of modern societies has led to a large-scale production of solid waste, and its proliferation is therefore a global problem with immediate consequences for public health and the environment. Urban solid waste must be managed and controlled so as to reduce its volume and hazard, minimizing the damage of environmental pollution and the impacts in the population health. Currently, the most common waste control techniques are recycling and composting. Such techniques are known as tools that allow waste reuse. In this context, the use of recyclable materials in civil construction has been increasing day to day. However, in Brazil, no approach was found regarding material for the civil construction that is based on domiciliary solid residues, as the ecological brick. In this work, the thermal comfort of the ecological brick was analysed, a brick of low environmental impact and of easy applicability that can be used to improve the thermal comfort of the Brazilian constructions in general, including the housing for the low-income population. The main objective of the study was to verify the effectiveness of the ecological brick regarding the thermal comfort. The methodology consists of measuring the thermal comfort in a reference model of low-income residence with ecological bricks masonry produced with waste from urban solid waste. Changes in the envelope were soon made, such as the addition of coating mortar and white paint and the replacement of the ecological brick masonry with the ceramic brick masonry with and without coating in order to compare the values of the residence internal temperature. The measurement was performed by computational simulation with the EnergyPlus® software using the real-scale prototype of the popular standard Brazilian house, on the typical summer day. In the results, it was noticed that the residence of ecological bricks obtained a sensitive difference in temperature in comparison to the residence of solid ceramic bricks. The prototype built with ecological brick contributed to better conditions of thermal comfort, as it provided lower internal temperatures, and, consequently, lower heat gain. Therefore, it was verified a change in the values of thermal transmittance and delay related to the behaviour of masonry in the different environments of the building. As for the influence of the addition of the coating mortar and the external paint with a light color, it was observed that there was a significant improvement in the thermal performance of the masonry. Therefore, for a better thermal comfort of the users of the buildings in the Brazilian bioclimatic zone number 8, it is indicated that the seal composed by ecological bricks is towed and its facade painted with light colors.

Keywords: computer simulation, thermal comfort, ecological brick, urban solid waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, tem-se discutido muito a respeito dos impactos ambientais no mundo. Tanto os governos quanto as empresas e a sociedade buscam novas formas de reverter ou minimizar os danos causados ao meio ambiente. Segundo dados da Organização das Nações Unidas – ONU Brasil (2016), metade da população mundial vive nas cidades, e a estimativa para 2030 é que 60% viverão em áreas urbanas. Além disso, a população global deve chegar a 9,6 bilhões até 2050, sendo necessários três planetas para gerarem recursos naturais capazes de sustentar o estilo de vida atual (SANTOS; ROVARIS, 2017).

Com crescimento populacional, cresce, também, o consumo, principalmente de produtos descartáveis ou com embalagens descartáveis, como plástico, alumínio, papel, entre outros. Essa condição provoca o aumento na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs), especialmente nos grandes centros, diminuindo assim a vida útil dos aterros sanitários e provocando maiores impactos ambientais (ROCHA, 2012). Sabe-se que a extração de recursos naturais para produzir bens de consumo e a produção de resíduos sólidos causam inúmeros danos ao meio ambiente. Por isso, para minimizar esses efeitos negativos ao ambiente, é fundamental realizar um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos produzidos pela população. De acordo com Rocha (2012), uma alternativa ambientalmente correta e sustentável de reciclagem dos RSUs é a coleta seletiva, já que diminui o volume de depósito dos rejeitos nos aterros sanitários, aumentando sua vida útil.

Segundo Santos e Rovaris (2017), neste contexto, o desafio é reduzir a produção excessiva dos resíduos sólidos e, por meio da coleta seletiva, promover o reaproveitamento dos materiais recicláveis, com o intuito de minimizar o descarte desses resíduos em aterros sanitários ou em locais inapropriados, que prejudiquem a saúde pública e o meio ambiente. Segundo dados da Organização das Nações Unidas – ONU Brasil (2016), o país descarta de maneira inapropriada em torno de 80 mil toneladas de RSUs todos os dias, isto é, cerca de 40% dos RSUs coletados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), editada por meio da Lei nº 12.305/2010, aponta que os resíduos sólidos devem ter uma destinação final ambientalmente adequada, o que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, e somente depois de findadas todas as alternativas de tratamento e recuperação dos resíduos, por intermédio dos processos tecnológicos e

economicamente viáveis disponíveis, que os resíduos podem ser rejeitados. Entretanto, é visível o atraso de parte dos municípios brasileiros quanto ao cumprimento dessa lei, por falta de recursos financeiros (BRANDÃO; GUTIERREZ, 2016).

Internacionalmente, sem ir muito longe, em um país limítrofe como Argentina (pontualmente na cidade autônoma de Buenos Aires), que tem o regime de políticas de resíduos sólidos urbanos similar ao do Brasil, foi implantada a técnica de reciclagem e coleta seletiva e por meio destas, foram fabricados os tijolos ecológicos produzidos com rejeitos de RSUs (BRANDÃO; GUTIERREZ, 2016).

O Projeto do tijolo ecológico é uma iniciativa da Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE), destinado a aproveitar a fração fina e orgânica dos rejeitos de RSUs para a produção de tijolos. Estes são produzidos a partir da mistura e combinação de tais rejeitos com outros materiais utilizados na construção (cal, cimento e areia).

Uma vez que os resíduos sólidos chegam à planta de tratamento, os resíduos orgânicos são separados mecanicamente e, em seguida, degradados e estabilizados por meio da aplicação de um tratamento biológico, por um período de três semanas, até que as bactérias consumam todo o orgânico e parem de gerar líquidos (figura 01), desse modo, o rejeito é utilizado para construção de cobertura do solo de aterros sanitários e para fabricação de tijolos ecológicos.

Na fábrica de tijolos ecológicos, o rejeito orgânico estabilizado é recebido, e realizado um novo processo, que consiste no esmagamento fino para, em seguida, ser peneirado para atingir o tamanho apropriado para uso posterior na fabricação de tijolos (figura 02).

Ato contínuo, misturam-se todos os materiais secos (rejeitos orgânicos, cal, cimento e areia) e se adiciona água para amassar e homogeneizar. Uma vez alcançada a consistência adequada, o tijolo é formado por preenchimento mecânico de moldes. Finalmente, os tijolos elaborados podem secar por cerca de 20 dias, tempo em que o material adquire dureza e resistência (figura 02).



Figura 1 – sequência do tratamento mecânico e biológico dos resíduos sólidos urbanos.



Figura 2 – sequência da fabricação do tijolo com o aditivo de cal, areia e cimento.

Assim, o tijolo ecológico produzido pela CEAMSE, na Argentina, possui atributos sustentáveis, já que os rejeitos que iriam ao aterro sanitário formam parte da matéria prima do material, gerando uma redução nos “gases efeito estufa” dos aterros sanitários e, por sua vez, uma redução no impacto ambiental. Os tijolos se encontram habilitados, na Argentina, para fins sociais.

A utilização de materiais recicláveis na construção civil vem crescendo dia a dia, e tem potencial de maior crescimento nos próximos anos (MIRANDA et al., 2009). Por essa razão, o setor necessita de novos produtos e soluções, já existindo muitas pesquisas e estudos sendo desenvolvidos com excelentes resultados, como, por exemplo, o trabalho dos pesquisadores Espósito et al (2014) demonstra o êxito do Tijolo de Rejeito-Cimento (TRC), muito similar na sua fabricação, porém com matéria prima diferente, sendo este de rejeito de mineração. Entretanto, no Brasil, não foi encontrada abordagem referente a algum material para a construção civil que tenha como base o resíduo sólido domiciliar, como é o caso do material em estudo.

O interesse da pesquisa está no desempenho térmico do material aplicado no Brasil, especificamente, na zona bioclimática brasileira 8, vez que possui um alto grau de sustentabilidade comparado com um material de características físicas similares ao material em estudo, como pode ser o tijolo maciço cerâmico.

No Brasil, quando há um crescimento demográfico muito grande em uma região, é comum existir, em paralelo, a necessidade de ampliação do sistema de produção que fornece os mais diversos itens que são utilizados nas construções civis e urbanização (PRADO FILHO, 2014). Assim, surge a demanda de produtos do setor cerâmico para suprir a necessidade do mercado.

Prado Filho (2014) afirma que dentro do setor da cerâmica o segmento da cerâmica vermelha é o que causa mais impactos negativos ao meio ambiente. Os problemas ambientais gerados dizem respeito, especialmente, à extração e ao consumo de matérias-primas: argila, água, lenha etc.; bem como, aos rejeitos de produção, principalmente, dos produtos defeituosos, e emissões gasosas (material particulado) oriundas da queima na fabricação.

Diante dos flagrantes impactos ambientais causados no processo de produção do tijolo cerâmico maciço e o aumento de produção deste material frente ao crescimento da construção civil, mostra-se relevante à utilização de alternativas ambientalmente mais adequadas, como é o caso do tijolo ecológico, a fim de que a agressão ao meio ambiente seja reduzida.

Avaliar o desempenho dos sistemas construtivos é um avanço para o setor da construção civil e constitui o caminho para a evolução de todos que compõem a cadeia (CBIC, 2013). Nas últimas décadas, além da racionalização, o setor da construção civil vem procurando aprimorar os sistemas construtivos sob a lógica da eficiência energética, por meio do universo de soluções arquitetônicas e tecnológicas, de forma a garantir melhor desempenho às edificações e propiciar maior conforto aos seus usuários.

A envoltória do edifício é o parâmetro mais importante no condicionamento passivo, além de ser o fator principal para a definição do clima interno, responsável pelos fluxos de calor em seu interior, e, portanto, determinante para o desempenho térmico (MANIOGLU; YILMAZ, 2006).

Na pesquisa de Pereira (2009) ratifica-se a ideia ao afirmar que, dentre todos os parâmetros que afetam o conforto térmico e a conservação de energia nas edificações, entre eles a orientação do edifício, distância entre edifícios, forma do edifício e propriedades termofísicas do envelope do edifício, este último é o mais importante. Isso porque o envelope é o responsável por separar o ambiente externo do interno.

Devido ao acréscimo da argamassa de revestimento à vedação, a barreira térmica aumenta em razão do aumento da massa térmica do fechamento opaco da edificação, o que faz com que os recintos internos recebam mais lentamente a energia térmica transmitida por meio da envoltória. Esse comportamento pode ser explicado por meio de dois fenômenos: o amortecimento e atraso térmico que, juntos, compõem a inércia térmica. Conforme Frota e Schiffer (2001), uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura, e, por isso, os revestimentos desempenham importante papel, pois os revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor com a parede, assim como, sua inércia.

Segundo Givoni (1994), utilizar uma cor mais refletiva no envelope da edificação é a característica arquitetônica de controle climático mais eficaz e a maneira mais viável de minimizar as cargas térmicas das edificações, principalmente no verão.

Por essa razão, considerando-se a necessidade de proteção do meio ambiente degradado, a busca atual por materiais sustentáveis para inserção no setor da construção civil, e a necessidade de redução da disposição dos rejeitos em aterros sanitários, a presente pesquisa se denota relevante, a fim de avaliar a adaptação do tijolo ecológico produzidos com rejeitos de RSUs no Brasil, a partir da análise de sua adequação às regras relativas ao desempenho térmico na zona bioclimática 8.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é avaliar o conforto térmico de uma Habitação de Interesse Social (HIS) com alvenaria de tijolos ecológicos produzidos com rejeitos de RSUs, em uma cidade da Zona bioclimática 8, por meio de simulação computacional.

## **3. MÉTODO**

A avaliação do conforto térmico pode ser feita de forma simplificada, com base em propriedades térmicas das fachadas e das coberturas, ou por simulação computacional, onde são cotejados, simultaneamente, todos os elementos e todos os fenômenos intervenientes. A norma NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda que a simulação computacional seja realizada por meio do *software EnergyPlus®* e determina que a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na norma. Diante disso, na presente pesquisa foi realizada a simulação computacional por meio do *software EnergyPlus®*, a fim de se obter a avaliação do conforto térmico dos tijolos ecológicos produzidos por rejeitos de RSUs no clima da cidade de Aracaju/SE, localizada na Zona Bioclimática 8.

Para o estudo do conforto térmico foi criado um modelo de referência de uma HIS, no *software EnergyPlus®*, e a partir desse modelo, foram executadas variações relacionadas aos materiais utilizados no envelope da edificação. As variações nos elementos construtivos do envelope podem resultar em diferentes desempenhos térmicos da edificação. Foi realizada uma análise comparativa entre o conforto térmico oferecido pelo tijolo ecológico produzido com rejeitos de RSUs e pelo tijolo maciço cerâmico, a fabricação deste último material gera um impacto negativo ao meio ambiente e dentro das características físicas é similar ao tijolo ecológico estudado.

O procedimento foi dividido em duas etapas:

1. Definição do modelo de referência de uma HIS.
2. Variações no envelope da edificação.

### 3.1 Definição do modelo de referência de uma HIS

Definiu-se para o modelo de referência uma edificação residencial unifamiliar, padrão Caixa Econômica Federal (CEF) para Habitação de Interesse Social (HIS), em fase de projeto, sendo definida sua localização na cidade de Aracaju/SE. A edificação tem área construída de 48 m<sup>2</sup>, com dimensões de 6,00m x 8,00m x 2,80m, é composta por três quartos, sala, um sanitário e cozinha.

A partir das informações disponibilizadas pela CEF, foi reproduzida a planta baixa da edificação (figura 3) no *software AutoCad 2015*, bem como foi realizada a modelagem de zonas térmicas no *software SketchUp*. Estas peças gráficas serviram de base para os dados requeridos, referentes à geometria da edificação, para simulação computacional no *software EnergyPlus®*.



Figura 3 – Planta baixa da edificação.

#### 3.1.1 Geometria da edificação

A edificação foi modelada no programa *EnergyPlus®* com seis zonas térmicas: zona quarto 1, zona quarto 2, zona quarto 3, zona cozinha, zona bwc e zona sala (figura 4 e 5). A simulação ocorre em todos os recintos da unidade habitacional, mas a avaliação dos resultados é realizada apenas para quartos e salas.



Figura 4 - Esquema das zonas térmica da edificação.



Figura 5 – Perspectiva da edificação Norte-Este

### 3.1.2 Temperatura externa

Nesta pesquisa, o protótipo foi simulado utilizando o arquivo climático do INMET da cidade de Aracaju (zona bioclimática 8), durante o mês de dezembro de 2015, disponibilizado pelo LabEEEE/UFSC e foi analisado o dia típico de verão, 21 de dezembro, como está estipulado na norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Com isso, foi possível comparar as temperaturas internas do edifício em relação à temperatura externa.

### 3.1.3 Resistência térmica dos materiais

As propriedades térmicas da maior parte dos materiais usados, tais como condutividade térmica, densidade, calor específico e absorvância para radiação solar, foram obtidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Apenas as características utilizadas para o tijolo ecológico foram obtidas dos resultados do laboratório do Instituto Nacional de Tecnologia (INTI) da Argentina, cujas amostras do tijolo foram enviadas pela *Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado* (CEAMSE), em 2015 para análise das características físicas, mecânicas e térmicas do material. Esses dados são apresentados na Tabela .

Tabela 7– Propriedades térmicas dos materiais.

| Material           | Condutividade térmica [W/m.K] | Densidade [kg/m <sup>3</sup> ] | Calor específico [J/kg.K] | Absortância |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|
| Tijolo ecológico   | 0,43                          | 1408                           | 1000                      | 0,70        |
| Concreto maciço    | 1,75                          | 2200                           | 1000                      | 0,70        |
| Telha cerâmica     | 1,05                          | 2000                           | 920                       | 0,70        |
| Piso contrapiso    | 1,15                          | 2000                           | 1000                      | 0,70        |
| Argamassa comum    | 1,15                          | 2000                           | 1000                      | 0,70        |
| Piso cerâmico      | 0,90                          | 1600                           | 920                       | 0,60        |
| Madeira para porta | 0,16                          | 600                            | 2300                      | 0,70        |

A norma NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda que as paredes sejam leves refletoras, portanto, o modelo possui vedação vertical externa e interna composta por tijolo ecológico produzidos com rejeitos de RSUs assentados com argamassa na menor dimensão (figura 6).

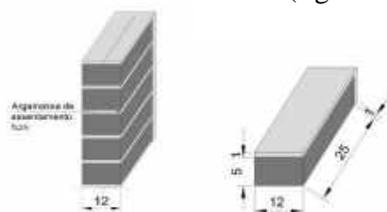


Figura 6- Sistema de parede equivalente de tijolo ecológico produzido com rejeitos de RSU.

De acordo com Weber et. al, (2017), o método de cálculo para determinação do desempenho térmico utilizado pelo programa *EnergyPlus*® dispõe os materiais constituintes da parede em camadas em série, perdendo assim, informações importantes quanto a geometria do componente que são necessárias para a sua correta quantificação energética. Frente a isso, este estudo foi modelado com um sistema de parede equivalente (figura 4).

Considerou-se o elemento construtivo equivalente, apresentado na Figura 4, composto por um módulo de tijolo ecológico 12 cm x 05 cm x 25 cm com argamassa de assentamento de 1 cm na face superior e posterior.

Os procedimentos para os cálculos da transmitância térmica total (*UT*), da resistência térmica total (*RT*) e da capacidade térmica total (*CT*) foram os mesmos considerados pela NBR 15220 (ABNT, 2005b) (tabela 2).

Tabela 2: Dimensões e propriedades termo físicas do sistema de parede equivalente.

| Propriedade                        | Tijolo ecológico |
|------------------------------------|------------------|
| Altura m                           | 0,06             |
| Largura m                          | 0,12             |
| Comprimento m                      | 0,26             |
| Área m <sup>2</sup>                | 0,0186           |
| Percentagem Argamassa %            | 33               |
| Densidade kg/m <sup>3</sup>        | 1602,2           |
| Condutividade W/(m K)              | 0,91             |
| Calor específico cp kJ/(kg K)      | 1,00             |
| Resistência m <sup>2</sup> K/W     | 0,13             |
| Transmitância W/(m <sup>2</sup> K) | 7,62             |

De acordo com a norma NBR 15220 (ABNT, 2005), o tamanho da abertura das esquadrias para ventilação e iluminação é de 40% em relação à área do ambiente, com vidro comum 4 mm. A cobertura é composta por telha cerâmica sem laje nem forro sob o telhado, esse tipo de cobertura é muito comum no

nordeste brasileiro (NORONHA et.al 2014). As portas internas e externa são de madeira. A edificação encontra-se em contato com o solo e é composta por base de concreto, contrapiso com impermeabilização, regularização, argamassa comum e piso cerâmico com rejunte.

Para considerar a influência do solo, foi realizada uma simulação preliminar, adotando os valores médios mensais de temperatura do solo, fornecidos pelo arquivo climático de referência da cidade em questão. Em seguida, utilizou-se o pré-processador *Slab* integrado ao *EnergyPlus*®, para obter as temperaturas médias mensais do solo subjacente à edificação. Para isso, foi necessário informar os seguintes parâmetros (objetos): base de concreto de 10 cm, contrapiso com impermeabilização de 5 cm, regularização com 3 cm de argamassa comum e piso cerâmico com rejunte. O *Slab* foi montado pelo tipo Site:GroundDomain:Slab.

### 3.1.4 Absortância dos materiais

No modelo de referência, os valores de absortância dos materiais foram definidos pela observação das cores na edificação estudada (tabela 1).

### 3.1.5 Ganhos internos de calor por equipamentos

Para realização da simulação computacional, um dos parâmetros a ser definido é a carga térmica presente na edificação, determinada pelos padrões de ocupação e iluminação. Para que a simulação pudesse se aproximar ao máximo da realidade de uso, foram adotados alguns procedimentos propostos por Sorgato et al. (2012).

Para cada dormitório da edificação deve ser adotado o padrão de ocupação de duas pessoas, entre as 21h e 7h. A sala de estar da edificação deve ser simulada com um padrão de ocupação de 50%, entre às 14h e 18h e com 100% entre às 18h e 21h.

A taxa metabólica para cada atividade é determinada em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente. Para a atividade no dormitório (dormindo ou descansando), o valor de calor dissipado de 81 W/pessoa. Para a atividade na sala (sentado ou assistido televisão), o valor considerado é de 108 W/pessoa.

Considera-se que os usuários utilizam a iluminação artificial no dormitório nas primeiras horas da manhã, entre 6h e 7h, e no período noturno entre 21h e 23h, e na Sala de estar, das 17h às 21h.

Foi estipulada uma potência de uso de iluminação de 9,86 watts para os quartos, 13,45 watts para a cozinha, 7,0 watts para o bwc e para a sala uma potência de 10,07 watts.

Para a sala considerou-se o uso da TV com uma potência de uso de 80 watts, nos horários das 6h, 7h, 12h, 13 h e das 18h às 22 h. Para a cozinha foi considerado o uso de geladeira com 33,19 watts de potência de uso e fogão com 60 watts nos horários: 6h, 7h, 12h, 13h, 18h, 19h e 21h.

### 3.1.6 Infiltração de ar

Considerando que a residência estudada possui boa vedação, adotou-se uma taxa de 5 trocas de ar/hora, para todas as zonas.

## 3.2 Variações no envelope da edificação

A partir do modelo de referência, foram executadas variações relacionadas aos materiais utilizados no envelope da edificação. As variações nos elementos construtivos do envelope podem resultar em diferentes desempenhos térmicos da edificação.

### 3.2.1 Acréscimo de argamassa de revestimento e pintura.

Na presente pesquisa, procurou-se melhorar o desempenho térmico do material com o acréscimo de argamassa de revestimento e pintura de cor branca. Para conseguir inserir os dados de entrada no *software EnergyPlus*®, foi preciso criar um novo sistema de parede equivalente e realizar os cálculos manualmente para inserir no *software* (Resistência= 0,35 m<sup>2</sup>K/W e Transmitância =2,90 W/ (m<sup>2</sup> K). A camada de emboço, tanto externo quanto interno, é composta por argamassa de 2,5 cm de espessura. A espessura total da parede leve é 17 cm (figura 7). O valor de absortância da pintura de cor branca ( $\alpha=0,20$ ) foi inserido diretamente no *software*.

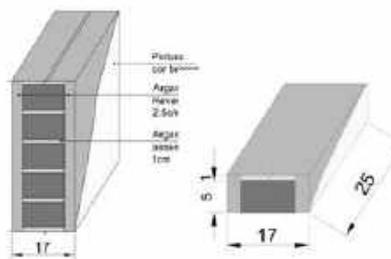


Figura 7 - Composição do sistema de parede equivalente de tijolo ecológico com revestimento.

### 3.2.2 Substituição do tijolo ecológico pelo tijolo maciço cerâmico

Outra das variações no envelope do modelo de referência foi a substituição do tijolo ecológico pelo tijolo maciço cerâmico, com o objetivo de comparar o desempenho térmico dos materiais. O tijolo maciço cerâmico tem características físicas similares ao ecológico (ver figura 8).

Para a substituição, foi criado um sistema de parede equivalente com o tijolo maciço cerâmico assentado com argamassa na menor direção (figura 8). Os dados do tijolo e da argamassa foram colhidos da norma NBR 15220 (2005) e, em seguida, foram realizados os cálculos das propriedades termo físicas do sistema de parede equivalente, dada pela combinação dos materiais (tabela 3).

Tabela 3- Dimensões e propriedades termo físicas do sistema de parede equivalente.

| Propriedade                        | Tijolo Maciço Cerâmico |
|------------------------------------|------------------------|
| Altura m                           | 0,07                   |
| Largura m                          | 0,11                   |
| Comprimento m                      | 0,23                   |
| Área m <sup>2</sup>                | 0,0203                 |
| Porcentagem Argamassa %            | 35                     |
| Densidade kg/m <sup>3</sup>        | 1739,9                 |
| Condutividade W/(m K)              | 0,99                   |
| Calor específico cp kJ/(kg K)      | 0,95                   |
| Resistência m <sup>2</sup> K/W     | 0,10                   |
| Transmitância W/(m <sup>2</sup> K) | 9,87                   |

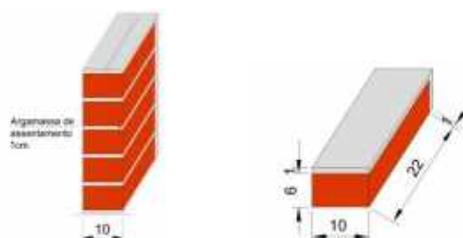


Figura 8 - Sistema de parede equivalente com tijolo maciço cerâmico e argamassa de assentamento com e sem revestimento.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. Todos os gráficos são referentes ao dia 21 de dezembro de 2015, nos horários de 1h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 24 h; os dois primeiros gráficos mostram os valores de temperatura média do ar externa para cada horário do dia típico de verão e os valores de temperatura média do ar interna simulados na edificação com alvenaria de tijolo ecológico e alvenaria de tijolos maciços cerâmicos sem revestimento e pintura. No último gráfico, apresenta-se os valores de temperatura interna na sala com o tijolo ecológico com revestimento e pintura. Na figura 9, observam-se os valores para o ambiente da sala e na figura 10, os valores são referentes aos quartos.

Esta simulação adotou o valor de temperatura externa igual a 26,27°C para a 1h, 25,83°C para 3h, 25,57°C para 6h, 27,55°C para 9h, 30,00°C para 12, 30,90°C para 15h, 29,81°C para 18h, 27,90°C para 21h e 26,61°C para 24h, que constam nos arquivos climáticos TRY.

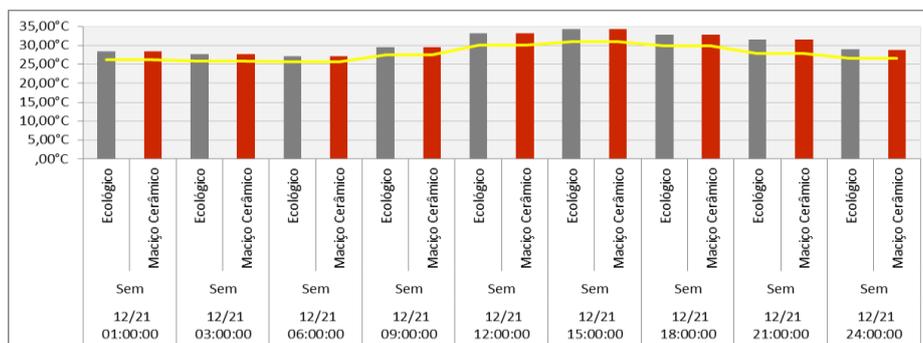


Figura 9 - Resultados da Sala: edificação com tijolo ecológico e tijolo maciço cerâmico sem revestimento e pintura.

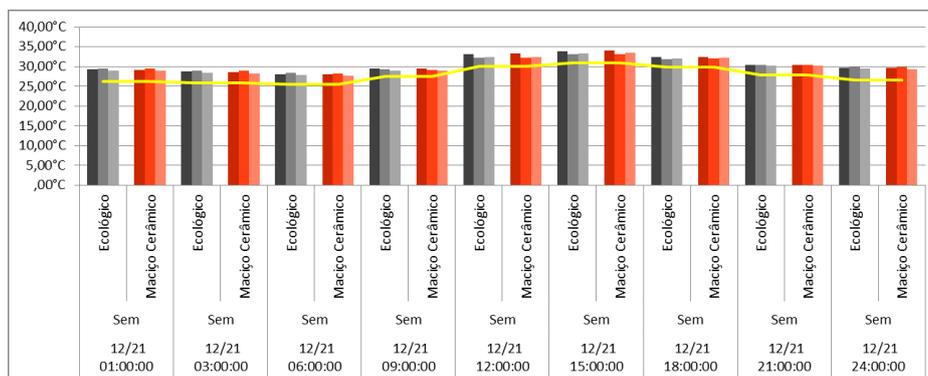


Figura 10 - Resultados dos quartos: edificação com tijolo ecológico e tijolo maciço cerâmico sem revestimento e pintura.

— Temperatura externa

Por meio desses gráficos é possível verificar que o horário de maior radiação e incidência solar costuma ser ao meio-dia, mas no interior dos protótipos a maior temperatura foi obtida entre às 14 e às 15 horas. Isso porque, nos materiais opacos, como os tijolos, é preciso considerar o armazenamento do calor durante a transmissão, na qual a massa vai se aquecendo, faixa por faixa, provocando o atraso térmico. O horário em que as temperaturas são menores é às 6 horas, resultado esperado, pois o sol nasce na face leste e as janelas dos protótipos estão posicionadas na fachada norte. A maior diferença de temperatura é das 12 horas às 15 horas em que a temperatura aumenta notavelmente em relação às demais. O horário em que o protótipo de tijolo ecológico comparado com o de tijolo maciço cerâmico obteve valores de temperaturas semelhantes, quase nulas, foi entre as 01h às 09h, podendo-se dizer que não há muita diferença na temperatura interna dos ambientes nos momentos de nascer do sol.

É importante notar que existe uma diferença de temperatura interna entre o protótipo de tijolo ecológico comparado com o maciço cerâmico, de 0,12°C para a sala, de 0,13°C para o quarto 01 e 03 e de 0,09°C quarto 02, isso aconteceu às 15 horas, no horário mais crítico da edificação, beneficiando ao tijolo ecológico.

Comparando a edificação simulada com alvenaria de tijolo ecológico sem revestimento com a simulação de alvenaria de tijolo ecológico com revestimento e pintura de cor de baixa absorvância, verifica-se que o tijolo com revestimento e pintura tem um melhor desempenho térmico, chegando a uma diferença de 1,28°C na sala, 1,85°C no quarto 01, 1,06°C no quarto 02 e 1,40°C no quarto 03, às 15h (figura 9).

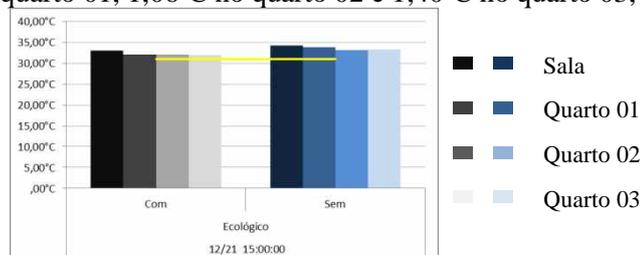


Figura 9 - Resultados dos quartos e da sala: edificação com tijolo ecológico com revestimento e pintura às 15h.

Os resultados desta pesquisa indicam, por conseguinte, que para climas quentes, como é o caso da ZB-8, recomenda-se que a alvenaria em tijolos ecológicos seja revestida e tenha a sua superfície externa pintada com cores claras, a fim garantir melhores condições de conforto térmico.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados apresentados, pode-se concluir que, apesar de se tratar de diferença sensível, o protótipo construído com tijolo ecológico contribuiu para melhores condições de conforto térmico, pois proporcionou menores temperaturas internas, e, conseqüentemente, menor ganho de calor. Além disso, esse tipo de tijolo é produzido sem queima, ou seja, com menor emissão de gases efeito estufa, e se revela uma alternativa mais econômica, sendo, por isso, mais acessível à população de baixa renda e utilizado com mais facilidade nos mutirões de autoconstrução.

O tijolo ecológico, portanto, mostra-se como uma alternativa viável do tijolo maciço cerâmico, considerando não apenas a sua característica ambiental, como também, de acordo com os resultados obtidos, pela inexistência de perda para fins de conforto térmico.

Quanto à influência do acréscimo da argamassa de revestimento às alvenarias, nota-se que houve significativa melhoria do desempenho térmico, quando comparada às alvenarias não rebocadas, em razão do

aumento da massa térmica, refletindo na otimização das propriedades térmicas, a exemplo do aumento da resistência térmica, acarretando, com isso, menor ganho de calor pela vedação, de forma a proporcionar melhores condições de conforto térmico. O mesmo pode ser notado quando a alvenaria rebocada tem sua superfície externa pintada com cor branca, causando a redução do fator de calor solar em torno de 70% quando comparado ao valor da alvenaria não rebocada, e de aproximadamente 65% em relação à alvenaria rebocada não pintada, o que reflete na redução de ganhos de calor para o interior da edificação. Portanto, a pintura exerce impactos significativos e positivos no desempenho térmico das alvenarias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações** – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BRANDÃO, I; GUTIERREZ, R, A. **Novos regimes de políticas de resíduos na América Latina**: Brasil e Argentina em perspectiva comparada. 40º Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação em Ciências Sociais, 2016.
- BRASIL Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 28 ago. 2017.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de Edificações Habitacionais**: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575, 2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.
- DORNELLES, K.A.; **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, São Paulo, 2008.
- ESPÓSITO, T. **Utilização de rejeito de minério para a fabricação de Tijolos de Rejeito-Cimento** –TRC, COBRAMSEG, 2014.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2001.
- GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- GUTIÉRREZ, R. A. (Ed.). **Avances hacia la gestión integral de residuos en la Región Metropolitana de Buenos Aires EPyG/UNSAM**. Buenos Aires, 2015.
- MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. **Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort**. *Energy and Buildings*, 2006.
- MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009. ISSN 1678-8621.
- NORONHA, L. L. MEDEIROS, A, F. BARBOSA, N. BEZERRA, U.T. Gesso e resíduos de saco de cimento: propriedades térmicas de elementos construtivos para forro. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis**. Portugal, 2014.
- PEREIRA, C.D. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- PRADO FILHO, R, H. **Impactos Sociais e Ambientais das Olarias**. Qualidade online. 12 outubro, 2014. Disponível em < <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/12/impactos-sociais-e-ambientais-das-olarias/>>. Acesso em 16 nov. 2018.
- ROCHA, D. L. Uma análise da coleta seletiva em Teixeira de Freitas – Bahia. **Revista Caminhos de Geografia**, 13(44), p. 140-155. 2012.
- SANTOS T; ROVARIS, N, R, S. Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva. Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, **Anais do VI SINGEP** – São Paulo, 2017.