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

AVALIAÇÃO DE HORAS DE CONFORTO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR LOCALIZADA EM SÃO PAULO, CONSIDERANDO DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Roberto Bozza Namur (1); Luana Sato (2); João Roberto Diego Petreche (3); Brenda Chaves Coelho Leite (4)

(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil ConstruInova, roberto.namur@usp.br

(2) Arquiteta e Urbanista, mestre em Engenharia Civil, Pesquisadora da Unidade EMBRAPII Poli USP – MCE, luana.sato@embrapii.poli.usp.br

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, João Roberto Diego Petreche Universidade de São Paulo, Departamento de Construção Civil, petreche@usp.br

(4) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, Brenda Chaves Coelho Leite Universidade de São Paulo, Departamento de Construção Civil, São Paulo – SP, 05508-070, Tel.: (11) 26486238

RESUMO

É comum a escolha do sistema construtivo pelo custo de construção e pela produtividade. Porém, muitas vezes, o aspecto que envolve o conforto do usuário e o consumo de energia é deixado de lado. Com este artigo propõe-se avaliar, com a utilização de ferramentas de simulação computacional, o desempenho térmico e energético de uma edificação residencial unifamiliar considerando a variação de sistema construtivo entre *Light Steel Framing* e alvenaria estrutural com cobertura plana de concreto. Foram verificadas as horas de conforto e desconforto térmico com base em normativas brasileiras considerando a climatização artificial e os efeitos da ventilação natural. Avaliou-se o consumo de energia elétrica para fins de climatização dos ambientes de longa permanência, para os dois sistemas construtivos. Obteve-se que, com ventilação natural abundante, a variação no envelope é pouco significativa. Já nos casos em que não há ventilação natural, mas sim climatização artificial, a edificação em *Light Steel Framing* se mostrou mais eficiente tanto em promover o conforto quanto no consumo energético do que a opção em alvenaria estrutural.

Palavras-chave: simulação computacional, desempenho térmico, sistemas construtivos.

ABSTRACT

The building materials are usually chosen by the cost of construction and productivity. But often, the user comfort and energy consumption are overlooked. This paper proposes to evaluate the thermal and energetic performance of a single-family residential building with the use of computational simulation tools, considering the structural system variation between Light Steel Framing and structural masonry with flat concrete slab. The hours of comfort and thermal discomfort were verified based on the Brazilian standard considering the use of air-conditioning and the effects of natural ventilation. It was evaluated the consumption of electric energy for the purposes of climatization of the long-stay rooms, for the two construction systems. The results were: With abundant natural ventilation, the envelope variation is not significant; In the cases in which there is no natural ventilation, but air conditioning, the Light Steel Framing building has proved to be more efficient both in promoting comfort and in energy consumption than the structural masonry option.

Keywords: computational simulation, thermal performance, constructive systems.

1. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo tradicional da cidade de São Paulo é a alvenaria, desde a vinda dos imigrantes italianos nos anos 1850. A partir da consolidação da adoção do concreto, a construção de casas manteve a alvenaria (conformada por novos componentes), mas a combinou ao concreto armado (SATO, 2011). Nos últimos anos a busca pelo aumento da produtividade na construção tem sido norteadora na escolha dos sistemas construtivos a serem adotados na produção de edifícios. O *Light Steel Framing* aparece como uma alternativa de sistema construtivo atraente, em um mercado que divulga um maior potencial de industrialização, reduções de custo indiretas por redução de cargas permanentes, e até um melhor desempenho térmico e acústico.

O *Light Steel Frame* pode, ainda, ser considerado um sistema construtivo sustentável, uma vez que, por ser um sistema industrializado e dado a sua melhor integração com os demais sistemas, gera menos resíduos na fase de construção e apresenta melhor desempenho térmico (COSTA et. al., 2018), induzindo a redução no consumo energético com climatizações.

É comum a seleção do sistema construtivo com base no custo da construção e produtividade, deixando de lado o conforto do usuário e o consumo de energia. Tais aspectos podem ser verificados por simulação computacional no momento da concepção de um projeto arquitetônico, uma vez que o sistema construtivo da edificação é bastante relevante para as suas condições de conforto térmico, influenciando diretamente algumas das variáveis ambientais.

O conforto térmico é definido pela ASHRAE (2013) como "a condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico", sendo ele influenciado por variáveis pessoais como metabolismo, resistência térmica das vestimentas, e ambientais, como temperatura do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar (FANGER, 1972). Para adequado funcionamento dos órgãos vitais, a temperatura corporal deve ser mantida constante em aproximadamente 37°C, de forma que, para ser atingido o conforto térmico deve-se reduzir a intensidade das trocas de calor do corpo com o ambiente.

A norma brasileira de conforto térmico e instalações de ar condicionado, ABNT NBR16401:2008, define como parâmetros para o conforto térmico intervalos de temperatura, dada a resistência térmica da vestimenta típica e a umidade relativa do ar e sendo cumpridos os requisitos de velocidade do ar e contra desconfortos locais.

Propõe-se neste estudo, a avaliação de horas de conforto e desconforto com base na norma citada, além da análise de consumo de energia, alterando os sistemas construtivos, mas mantendo o projeto arquitetônico.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar localizada na cidade de São Paulo, considerando a variação de sistemas construtivos (alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com cobertura plana de concreto x *Light Steel Framing* – LSF), a partir de simulações computacionais, com foco em conforto térmico e consumo de energia.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Modelagem computacional de um projeto arquitetônico residencial preexistente, utilizando o software EnergyPlus v.8.9.0, considerando dois sistemas construtivos: alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com lajes de concreto maciço e *Light Steel Framing* (LSF).
2. Avaliação de horas de conforto e desconforto de ambos os sistemas construtivos, considerando somente ventilação natural.
3. Avaliação do impacto de ambos os sistemas construtivos na carga térmica do ambiente e, consequentemente, na carga de projeto do sistema de climatização artificial, bem como seu efeito sobre o consumo energético da edificação.

3.1. Modelagem computacional

Foi modelada uma residência unifamiliar genérica de dois pavimentos, com três dormitórios, sendo um deles uma suíte, sala de estar, sala de jantar integrada à cozinha, lavanderia e dois banheiros, conforme plantas baixas representadas nas Figura 1 e 2.

Como o objetivo é a comparação de desempenho entre sistemas construtivos distintos, a orientação não foi variada, tendo sido mantida a mesma para os dois casos.



Figura 1 – Planta baixa da residência simulada: (A) pavimento térreo; (B) primeiro pavimento.

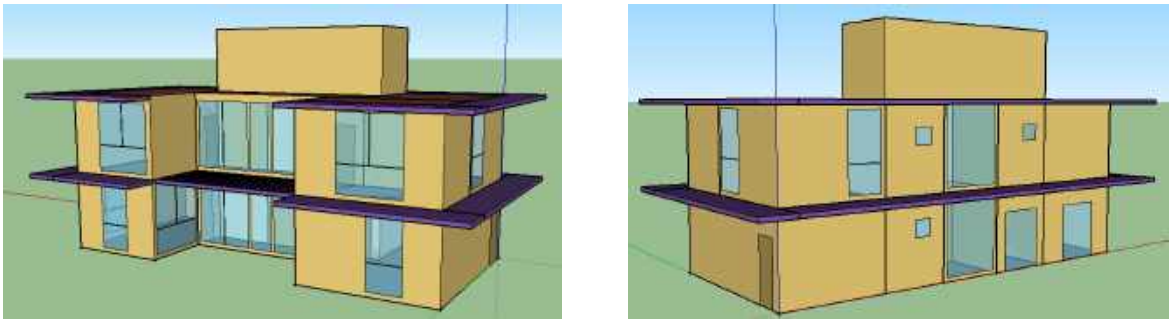


Figura 2 – Perspectivas do modelo da residência simulada.

3.1.1. Caracterização da Zona Bioclimática e Design Day

A cidade de São Paulo pertence à zona bioclimática 3. Segundo a ABNT (2005b), paredes leves e refletoras e coberturas leves isoladas, com aberturas médias (com sombreamento) para ventilação no verão e que recebam sol durante o inverno são as soluções construtivas que melhor se adequam a esse tipo de clima. Porém, a técnica construtiva tradicional da cidade envolve sistemas pesados, como a alvenaria estrutural e o concreto armado (SATO, 2011).

Para comparação dos resultados com a alteração de técnica construtiva, foi necessária a determinação dos dias típicos de projeto. Para tanto, foi realizada comparação de resultados com base em dias típicos sugeridos por Silva *et al.* (2014) e resultados com base no arquivo climático anual (BRA_Sao.Paulo-Congonhas.837800_SWERA.epw).

Tabela 1 – Dias típicos sugeridos por Silva *et al.* (2014).

Verão	**Inverno**
21/dez (início do verão); 31/dez (dia intermediário do verão); 20/mar (fim do verão)	21/jun (início do inverno); 31/jul (dia intermediário do inverno); 20/set (fim do inverno)

Para as análises foram adotados os dias 21/12 e 21/06 como dias típicos de verão e inverno, respectivamente, devido à maior semelhança entre os resultados encontrados.

3.1.2. Caracterização das Zonas Térmicas

Foram modeladas 13 zonas térmicas, para os seguintes ambientes: Sala de TV e Estar, Lavabo,

Área de Serviço, Sala de Jantar e Cozinha, Corredor Térreo, Caixa de Escada, Corredor Superior, Dormitório 1, Dormitório 2, Banheiro, Suíte, Banheiro da Suíte, Caixa D'Água, conforme a Figura 3.

Não foi realizado o agrupamento de ambientes em uma mesma zona térmica, com exceção da escada, por conta das diferentes orientações, tipos de ocupação e equipamentos instalados.

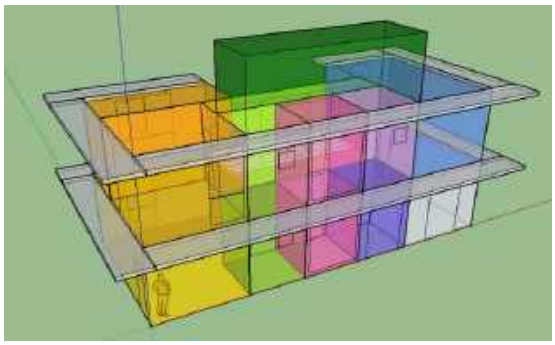


Figura 3 – Zonas térmicas da residência simulada.

3.1.3. Caracterização da ocupação – Pessoas e Equipamentos

A edificação foi projetada para uma ocupação de 5 pessoas, sendo um casal com três filhos.

Os corredores, a escada, o lavabo e caixa d'água, de ocupação muito esporádica, foram considerados desocupados 100% do tempo. Logo, não foram criados schedules de ocupação, atividade metabólica, iluminação[1] e equipamentos[2] . Os schedules fracionários de ocupação, iluminação e equipamentos dos demais ambientes estão representados na Figura 4. Já as taxas metabólicas, as potências de iluminação e de equipamentos consideradas em cada ambiente estão apresentadas na Tabela 2.

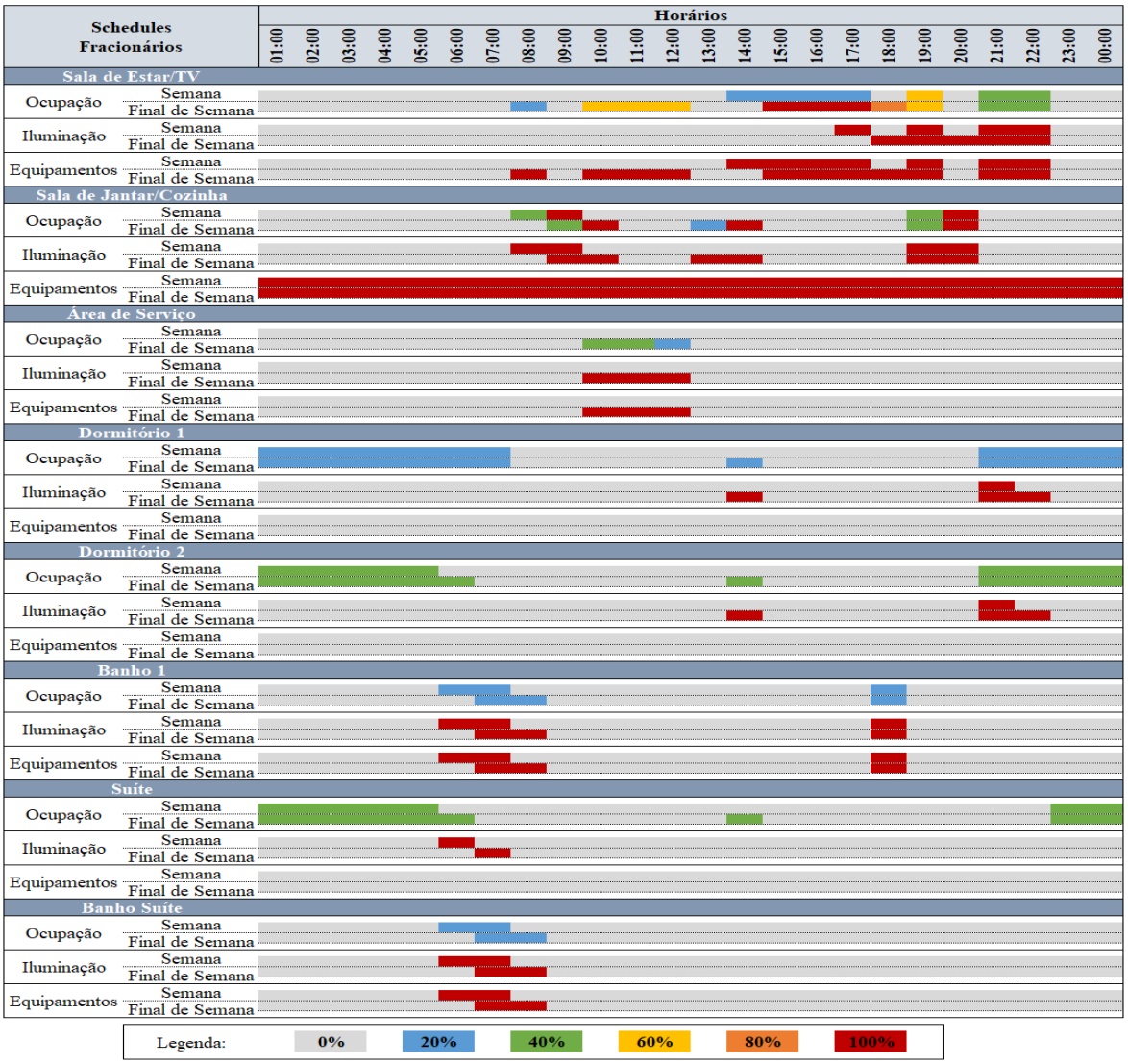


Figura 4 – Schedules fracionários de ocupação, iluminação e equipamentos.

Tabela 2 – Cargas internas consideradas.

Tipo de Cargas	Dormitórios e Suíte	Salas de Estar e Jantar	Cozinha e Área de serviço	Banheiros
Taxa Metabólica (W/pessoa)	81	108	95	95
Iluminação (W/m²)	5	6	6	5
Equipamentos considerados	-	TV (Estar): 300W, aparelho de som (Estar): 50W	Geladeira (coz): 250W, máquina de secar (A.S.): 3500W, máquina de lavar (A.S.): 1000W	Chuveiros elétricos: 5500W

3.1.4. Caracterização do envelope 1 - Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e cobertura plana de concreto

Nesta composição foram adotados materiais conforme Tabela 3:

[1] Com exceção do corredor térreo e escada, nos quais considerou-se a iluminação ativada das 18h às 22h, e corredor superior, no qual a iluminação foi considerada ativada das 18h às 6h (potência de 5 W/m²).

[2] Com exceção da caixa d'água, na qual considerou-se o funcionamento de uma bomba de pressurização (400W).

Tabela 3 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância	Emissividade
Argamassa colante	Lisa	0,5	1,15	2000	1000	0,70	0,85
Bloco cerâmico vazado	Rugosa	14,0	0,90	1500	920	0,70	0,85
Contrapiso	Muito rugosa	5,0	1,15	2300	1000	0,70	0,85
Gesso	Lisa	0,5	0,5	1200	840	0,20	0,85
Laje de concreto	Rugosa	10,0	1,75	2300	1000	0,70	0,85
Madeira para porta	Médio-Lisa	2,5	0,15	500	1340	0,90	0,90
Placa cerâmica	Muito lisa	0,5	0,9	1500	920	0,20	0,85
Revestimento externo	Médio-Lisa	4,5	1,15	2000	1000	0,70	0,85
Textura acrílica	Médio-Rugosa	1,0	0,4	1300	1000	0,20	0,85
Vidro	U = 5,78 W/(m².K)						

Tabela 4 – Composições construtivas de materiais consideradas na simulação.

Elemento construtivo	Composição de camadas
Piso do térreo	Laje de concreto – Argamassa colante – Cerâmica
Entrepiso	Laje de concreto
Paredes externas de áreas molhadas	Revestimento externo – Bloco cerâmico – Argamassa colante – Cerâmica
Paredes externas de áreas secas	Revestimento externo – Bloco cerâmico – Gesso
Paredes internas áreas secas	Gesso – Bloco cerâmico – Gesso
Paredes internas áreas molhadas	Placa cerâmica – Argamassa colante – Bloco cerâmico – Argamassa colante – Cerâmica
Paredes internas área seca / área molhada	Gesso – Bloco cerâmico – Argamassa colante – Cerâmica
Portas	Madeira para porta
Janelas	Vidro
Cobertura	Laje de concreto

As construções de padrão econômico em alvenaria costumam não considerar a adoção de um isolante térmico sobre a laje de concreto da cobertura. Além disso, o projeto dessas casas também não contempla as aberturas do projeto arquitetônico considerado no estudo, tanto em dimensões, quanto em número. Por considerar adequada, simulou-se a composição acima considerando também a isolação da cobertura em concreto. Adotou-se isolamento com espessura de 5cm e condutividade térmica de 0,035W/m.K.

3.1.5. Caracterização do envelope 2 – Light Steel Framing

Nesta composição foram adotados materiais com as seguintes características:

Tabela 5 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância	Emissividade
Argamassa colante	Lisa	0,5	1,15	2000	1000	0,70	0,85
Argamassa farofa	Rugosa	5,0	1,15	2100	1000	0,70	0,85
Chapa cimentícia	Rugosa	1,25	0,8	1800	840	0,70	0,9
Lã mineral	Médio-Rugosa	5,0	0,035	100	750	0,70	0,9
Madeira para porta	Médio-Lisa	2,5	0,15	500	1340	0,90	0,90
Manta de polietileno	Rugosa	0,2	0,004	930	20735	0,30	0,9
Manta impermeável à água e permeável ao vapor – MIAPV	Lisa	0,05	2,3	130	2300	0,70	0,9
Montantes leves de aço	Muito lisa	1,1	55	7800	460	0,70	0,25
Placa cerâmica	Muito lisa	0,5	0,9	1500	920	0,20	0,85
Placa de drywall	Lisa	1,25	0,35	880	840	0,70	0,9
Placa de OSB (Parede)	Médio-Rugosa	1,11	0,17	700	2300	0,70	0,9
Placa de OSB (Piso)	Médio-Rugosa	1,83	0,17	700	2300	0,70	0,9
Textura acrílica	Médio-Rugosa	1,0	0,4	1300	1000	0,20	0,85
Vidro	U = 5,78 W/(m².K)						

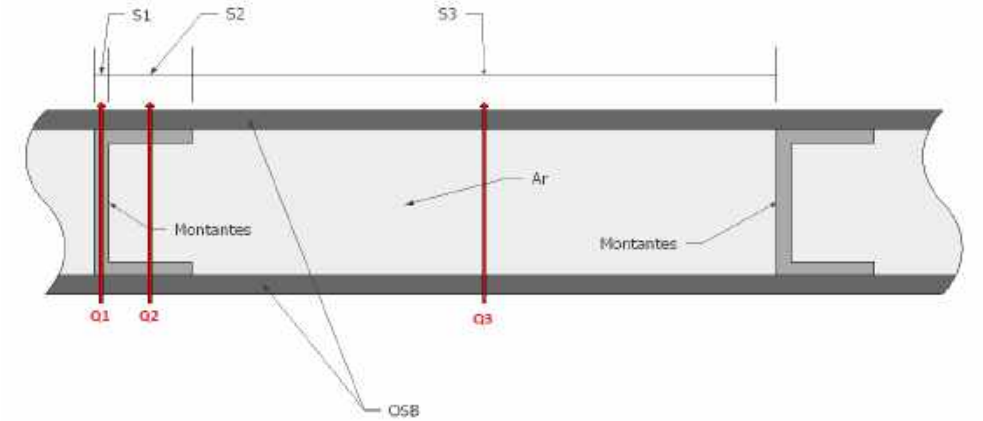
Tabela 6 – Composições construtivas de materiais consideradas na simulação.

Elemento construtivo	Composição de camadas
Piso do térreo	Laje de concreto – Argamassa colante – Placa cerâmica
Entrepiso	Drywall – Montantes + Ar – OSB (piso) – Manta de Polietileno – Argamassa Farofa – Placa cerâmica
Paredes externas de áreas molhadas	Textura acrílica – Chapa cimentícia – MIAPV – OSB (parede) – Lã mineral + Ar + Montantes – OSB (Parede) – Drywall – Argamassa colante – Placa cerâmica
Paredes externas de áreas secas	Textura acrílica – Chapa cimentícia – MIAPV – OSB (parede) – Lã mineral + Ar + Montantes – OSB (Parede) – Drywall
Paredes internas áreas secas	Drywall – OSB (parede) – Ar + Montantes – OSB (parede) – Drywall
Paredes internas áreas molhadas	Placa cerâmica – Argamassa colante - Drywall – OSB (parede) – Ar + Montantes – OSB (parede) – Drywall – Argamassa colante – Placa cerâmica
Paredes internas área seca / área molhada	Drywall – OSB (parede) – Ar + Montantes – OSB (parede) – Drywall – Argamassa colante – Placa cerâmica
Portas	Madeira para porta
Janelas	Vidro
Cobertura	Chapa cimentícia – OSB (piso) – Ar + Lã Mineral + Montantes duplos – Drywall

O envelope em *Light Steel Framing* tem suas paredes compostas por camadas, apresentando diferentes seções transversais, dada a presença dos montantes em perfis metálicos em "U reforçado" a cada 40cm. Para não gerar um aumento excessivo da complexidade na modelagem, uma vez que o modelo de cálculo do programa considera que cada zona térmica possui comportamento uniforme em todo o seu volume, desconsiderou-se os enrijecedores dos montantes, conforme Figura 5.

Os componentes compreendidos entre as placas e chapas da vedação vertical (lã mineral, aço galvanizado e ar) foram considerados na forma de um material equivalente, de maneira a "homogeneizar" todas as seções transversais de uma parede, gerando um dado de entrada mais adequado à complexidade do cálculo do software utilizado. Para que a composição original pudesse ser convertida a uma composição equivalente homogênea, o total das trocas de calor teria de ser equivalente nas duas composições. Desta forma, igualou-se a soma das trocas de calor ocorridas nas seções dos tipos 1, 2 e 3 (representadas por Q1, Q2 e Q3 na Figura) à troca de calor total na seção de material equivalente.

Figura 5 – Esquema da composição original da parede a ser substituída por material equivalente - Sem escala.



Para a inserção do material equivalente no modelo de simulação é exigido pelo software a transmitância equivalente a qual pode ser determinada pela rotina de cálculo abaixo (Equações 1 a 5).

$$\boldsymbol{Qt = Q1 + Q2 + Q3} \quad \text{Equação 1} \qquad \mathbf{Q = U \times A \times \Delta T} \quad \text{Equação 2} \qquad \boldsymbol{At = A1 + A2 + A3} \quad \text{Equação 3}$$

$$\boldsymbol{Ut \times (A1 + A2 + A3) \times \Delta T = U1 \times A1 \times \Delta T + U2 \times A2 \times \Delta T + U3 \times A3 \times \Delta T} \quad \text{Equação 4}$$

$$\boldsymbol{Ut = U1 \times \frac{A1}{(A1+A2+A3)} + U2 \times \frac{A2}{(A1+A2+A3)} + U3 \times \frac{A3}{(A1+A2+A3)}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- Ai: Área da parede com seção transversal i [m²];
- Qi: Penetração de calor por condução e convecção na área da parede com seção transversal i [W];
- ΔT: Diferença de temperatura entre as duas faces da parede [K];
- Ui: Transmitância térmica da área da parede com seção transversal i [W/(m².K)].

3.2. Avaliação de horas de conforto e desconforto, somente com ventilação natural, de cada sistema construtivo

A avaliação das horas de conforto promovidas apenas com a ventilação natural foi determinada com base nos resultados da simulação anual, somando-se para cada ambiente as horas em que a sua condição térmica interior pode ser considerada adequada para o conforto térmico, segundo o que prevê a ABNT NBR16401:2008. Desta forma os dados foram agrupados pela estação do ano, dadas as diferenciações das resistências térmicas das roupas típicas.

Para os dias de verão foram consideradas como vestimentas aquelas com resistência térmica de 0,5clo, de forma que a condição de temperatura para o conforto é compreendida pelo intervalo de 23°C e 26°C, sendo considerada umidade relativa de 35%. Já para os dias de inverno, foi admitida como resistência térmica da vestimenta padrão 0,9clo de modo que o intervalo de temperatura para o conforto é 21°C a 24°C. A ventilação natural foi configurada de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização da modelagem da ventilação natural.

Método de modelagem de ventilação	Airflow Network
Parâmetro de Controle	Temperatura
Setpoint Schedule	23°C
Configurações de abertura e fechamento das aberturas	Aberturas totalmente abertas ou totalmente fechadas
Área de fachada	Norte e Sul: 105,03m²; Leste e Oeste: 59,56m²
Porcentagem de área de abertura (em relação à área de fachada)	Norte: 45,04%; Sul: 22,23%; Leste: 16,02%; Oeste: 16,02%

3.3. Dimensionamento de climatização artificial e avaliação de desempenho energético

Foram considerados ambientes elegíveis à climatização artificial aqueles em que a ocupação é de longa permanência (salas e dormitórios). Para o dimensionamento, foram impostas as faixas de temperaturas adotadas para a avaliação de conforto, ou seja, 23°C a 26°C para o verão, 21°C a 24°C para o inverno.

Para avaliação do desempenho energético observou-se o consumo requerido para climatização na simulação anual.

Tabela 8 – Caracterização da modelagem da climatização artificial.

Método de modelagem da climatização artificial	Ideal Load Air System
Parâmetro de Controle	Temperatura
Setpoint de ativação (termostato)	Verão: ≤ 23°C e ≥ 26°C; Inverno: ≤ 21°C e ≥ 24°C
Tipo de controle de desumidificação	Nenhum
Outdoor Air Method	Flow/Person – 0,0075 m³/s

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As curvas de temperatura dos recintos com ocupação da simulação dos dois sistemas construtivos estão ilustrados nas Figura 6 e 7.

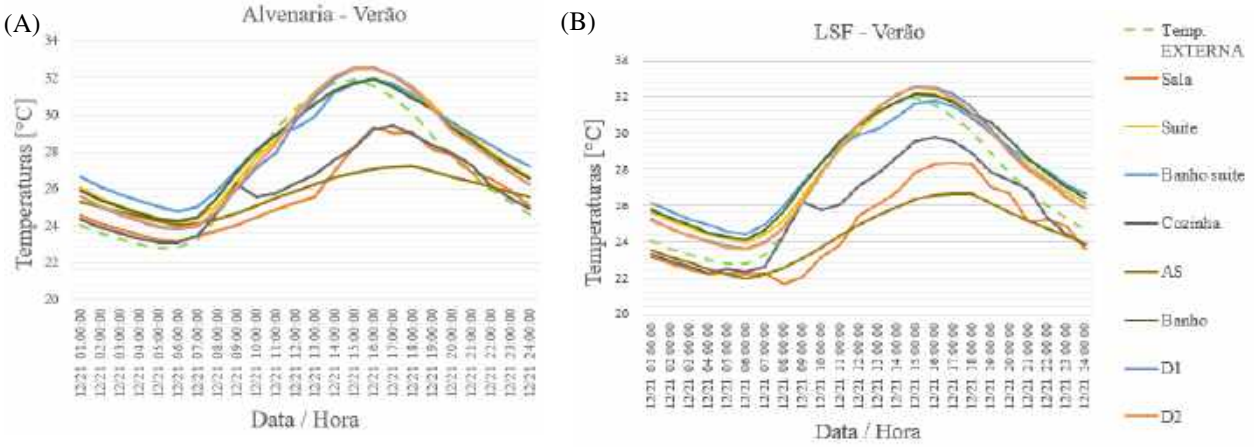


Figura 6 – Temperaturas (°C) no verão, com ventilação natural: (A) Alvenaria; (B) LSF.

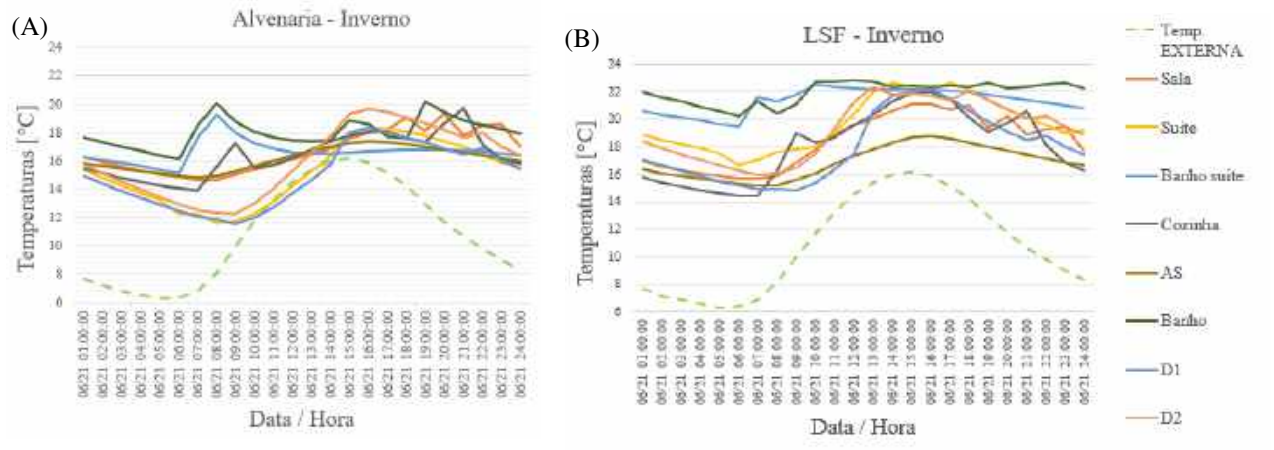


Figura 7 – Temperaturas (°C) no inverno, com ventilação natural: (A) Alvenaria; (B) LSF.

No caso do verão, nota-se que há pouca alteração nas curvas de temperatura com a troca dos sistemas construtivos. Justifica-se esse fato pela orientação da edificação, pela grande área de aberturas, e pela programação da ventilação natural, a qual foi habilitada assim que a temperatura interna do ambiente fosse maior ou igual a 23°C, de forma que o efeito da ventilação natural se sobrepõe à alteração do envelope.

Já no caso do inverno, é possível dizer que as curvas de temperaturas internas do sistema construtivo LSF estão mais próximas da faixa de temperatura considerada como confortável pela ABNT NBR16401:2008. O achatamento da curva próximo aos 23ºC se dá pela ventilação natural, acionada pelo *Setpoint* de Ventilação.

A adoção do isolamento na cobertura tem impacto pouco significativo na análise de temperaturas horárias do *DesignDay* no verão, por conta do *Setpoint* de Ventilação. Já no inverno pode ser percebida leve elevação das temperaturas dos ambientes do pavimento superior.

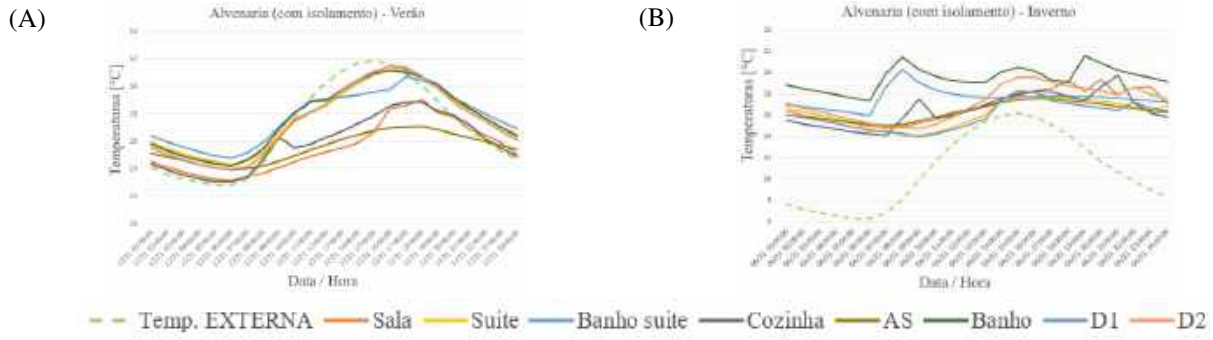


Figura 8 – Temperaturas (°C) para a edificação em alvenaria, com isolamento na cobertura: (A) no verão; (B) no inverno.

4.1. Horas de conforto e desconforto, somente com ventilação natural

O percentual de horas de conforto (em verde) e desconforto (em azul e vermelho), de ambos os sistemas construtivos do verão e inverno são demonstrados na Figura 9 e 10, respectivamente. Assim como na comparação entre os resultados do *DesignDay*, pode-se notar que não há mudança significativa no percentual de tempo de conforto no verão com a alteração dos sistemas construtivos. No período do inverno, em contrapartida, evidencia-se um aumento significativo no percentual de horas de conforto no caso do sistema construtivo em *Light Steel Framing*. Ainda que a presença de isolamento térmico na laje de cobertura da opção em alvenaria tenha um impacto significativamente positivo no tempo de conforto, a opção em *Light Steel Framing* ainda se mostra mais eficaz em promover o conforto térmico nos ambientes internos (Figura 11).

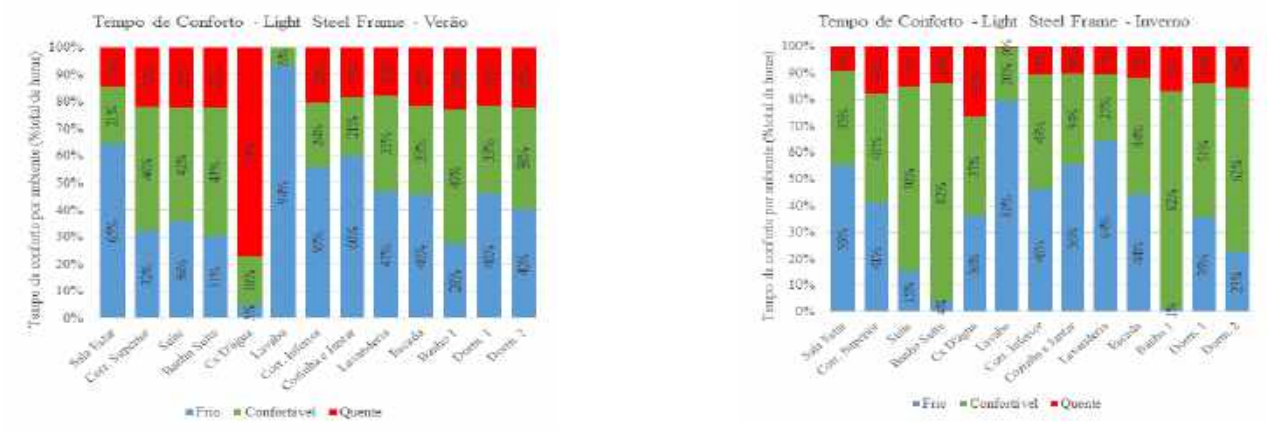


Figura 9 – Percentual de tempo de conforto e desconforto do LSF: (A) no verão; (B) no inverno.

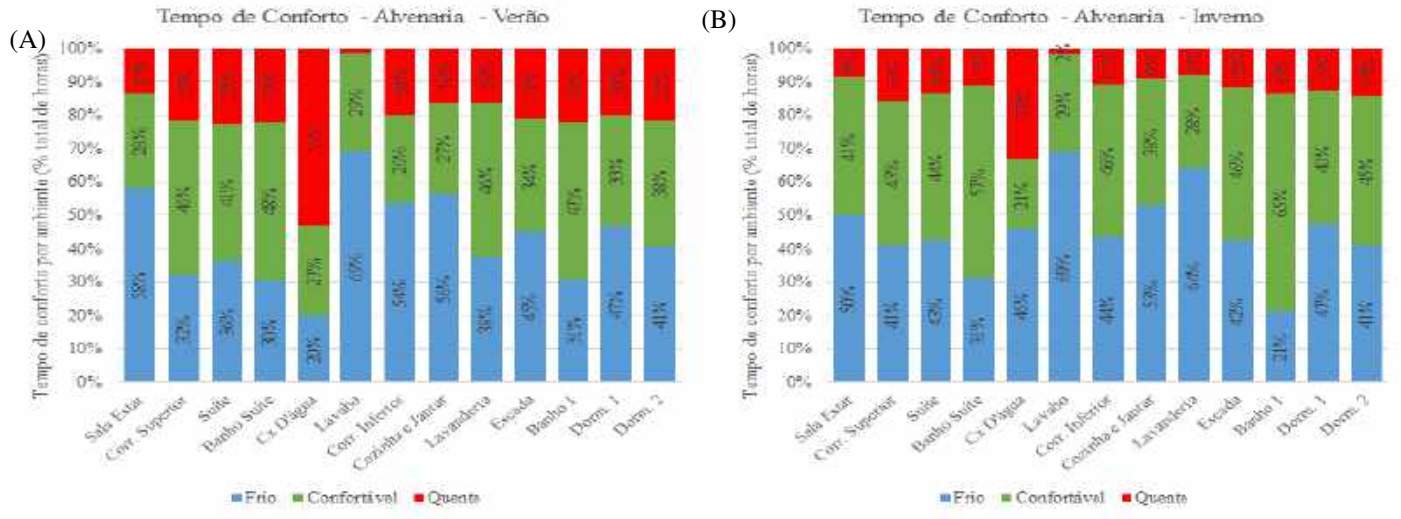


Figura 10 – Percentual de tempo de conforto e desconforto da Alvenaria: (A) no verão; (B) no inverno.

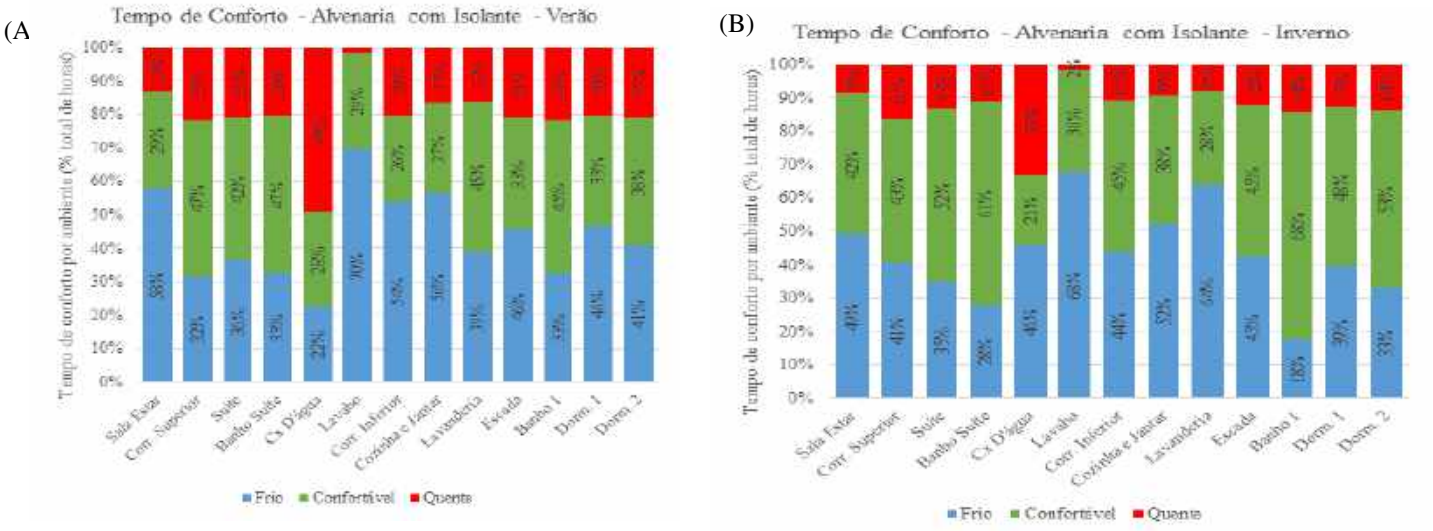


Figura 11 – Percentual de tempo de conforto e desconforto da Alvenaria com isolamento térmico na cobertura: (A) no verão; (B) no inverno.

4.2. Consumo de energia do sistema de climatização para garantir as condições de conforto nos ambientes de permanência da edificação

Os resultados de consumo de energia no verão e no inverno estão registrados na Figura 12

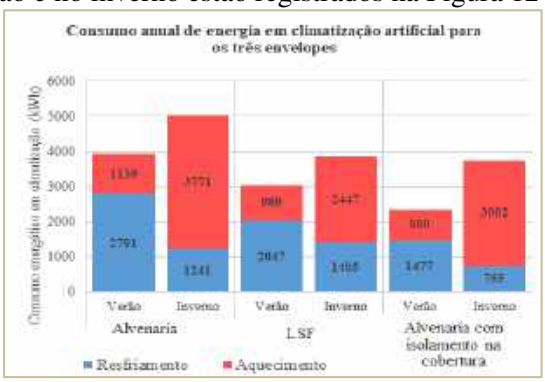


Figura 12 – Consumo de energia anual para resfriamento e aquecimento nos três sistemas construtivos.

Encontrou-se resultado coerente com as análises anteriores, ou seja, a maior diferença no consumo de energia está no inverno, sendo o LSF mais eficiente do ponto de vista energético.

As construções de padrão econômico em alvenaria costumam não considerar a adoção de um isolante térmico sobre a laje de concreto da cobertura. Porém, o projeto dessas casas também não contempla as aberturas do projeto arquitetônico considerado no estudo, tanto em dimensões, quanto em número. Logo, foi realizada nova simulação com isolamento para verificar os efeitos sobre o consumo de energia, com a isolação da cobertura em concreto, para verificar os resultados (Figura 12). Constatou-se que com a adoção de isolante térmico sobre a cobertura de concreto armado, o consumo energético da opção em alvenaria anual cai 31,6%, para 6.114,95 kWh, se tornando uma opção mais eficiente.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na simulação com ventilação natural observou-se que os efeitos do sistema construtivo sobre o conforto térmico foram pouco significativos frente ao efeito da ventilação, dadas as grandes aberturas da edificação. Desta forma, o impacto da alteração do envelope apenas pode ser evidenciado nas situações sem ventilação natural e com climatização artificial. Tanto em relação ao conforto térmico quanto ao consumo energético foi verificada maior eficiência na edificação com envelope em *Light Steel Framing*, a qual apresentou significativamente mais horas de conforto nas ocasiões sem ventilação natural e um consumo energético para a climatização 23% menor do que a versão com envelope em alvenaria. Constatou-se, porém, que a opção em alvenaria se torna mais eficiente do ponto de vista energético com a adoção de isolamento térmico na laje de cobertura, apesar de promover menos horas de conforto apenas com ventilação natural.

Observa-se, também, que a verificação por curvas de temperaturas horárias dos *DesignDays* não representa todos os aspectos relevantes para a escolha de um sistema construtivo pela viabilidade de desempenho. A sua composição com a verificação de horas de conforto e desconforto, bem como com o consumo de energia é interessante, principalmente se houver a intenção de adoção de climatização artificial.

Ressalta-se a importância da avaliação de eficiência do sistema construtivo, tanto em relação a horas de conforto, quanto em relação ao consumo de energia atrelado à climatização artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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, 2005a.

_____. **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.

_____. **NBR 16.401**: Instalações de Ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. p. 30.12. Atlanta, 2005.

_____. American Society of Heating, Refrigerating and air-conditioning Engineers. **Handbook of HVAC-Applications**. Atlanta, 2011.

COSTA, A.F.G.M, FILHO, J.A.P., CORTESE, T.T.P, LEITE, B.C.C. **The green roof thermal performance evaluation in comparison to asbestos cement tiles applied to light steel frame Brazilian buildings.** International Journal or Architectural Research, 2018.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering.** Copenhagen: McGraw-Hill Book Company, 1972.

SATO, L. **A Evolução das Técnicas Construtivas em São Paulo: Residências Unifamiliares de Alto Padrão.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. 183 p. São Paulo, 2011.

SILVA, A.S.; SORGATO, M.J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A.P.; GHISI, E. **Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para avaliação do desempenho térmico de habitações.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.14, n.4, p.103-117, out./dez. 2014.