



## **ECONOMIA DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS MULTI-FAMILIARES UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS DE JANELAS EM VITÓRIA-ES**

**Filipe Galina Costalonga (1); Bruna Perovano Sirtuli (2); Edna Aparecida Nico Rodrigues (3); Cristina Engel de Alvarez (4)**

(1) Estudante, Graduando em Arquitetura e Urbanismo, [filipegcostalonga@gmail.com](mailto:filipegcostalonga@gmail.com)

(2) Estudante, Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, [brunapsirtuli@gmail.com](mailto:brunapsirtuli@gmail.com)

(3) Dr.<sup>a</sup> Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, [edna.rodrigues@ufes.com](mailto:edna.rodrigues@ufes.com)

(4) Dr.<sup>a</sup>, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, [cristina.engel@ufes.br](mailto:cristina.engel@ufes.br)

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, Laboratório de Planejamento e Projetos, Av. Fernando Ferrari 514, Goiabeiras, Vitória-ES, 29075-910 Tel.: (27) 4009-2581

### **RESUMO**

O aumento mundial da urbanização desencadeia desafios para o desenvolvimento sustentável, intensificado pelo aumento da população nas cidades. As projeções para 2050 das Nações Unidas demonstram que a urbanização, associada ao crescimento da população mundial poderá trazer 2,5 bilhões de pessoas para as cidades. É imprescindível soluções para melhoria do conforto ambiental, uma vez que as pessoas passam entre 80% e 90% de suas vidas em ambientes fechados. O objetivo desta pesquisa foi analisar a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) relacionado ao consumo de quilowatt-hora (kWh) necessário para manter um ambiente ventilado naturalmente nas condições mínimas de conforto, utilizando, quando necessário, condicionadores de ar. Foram avaliados ambientes com dois modelos de janelas, em edifícios residenciais multifamiliares localizados em Vitória/ES. As etapas metodológicas foram: 1. definição dos períodos de avaliação e parâmetros proposto pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE 55), com modelo de edificação, características e propriedades físicas dos materiais construtivos; 2. simulações, considerando a temperatura operativa; e 3. determinação da FDT, dos valores de kWh e do custo financeiro para resfriamento. Os resultados demonstraram que o consumo de kWh para o modelo M2 foi menor do que para o modelo mais utilizado denominado M1. A utilização de componentes que permitiram a ventilação constante e o sombreamento da janela foram fatores importantes na melhoria do desempenho térmico da edificação, demonstrado pela economia de R\$ 476,05 para os 91 dias simulados, o que representa uma diminuição em 36,44% da quantidade de kWh necessários para a refrigeração.

Palavras-chave: Janelas eficientes; Consumo de energia; Frequência de Desconforto Térmico.

### **ABSTRACT**

The increase of the urbanization worldwide triggers challenges to the sustainable development, intensified by the increase of the cities population. The projections to 2050 from the United Nations show that the urbanization, associated with the growth of the world's population can bring 2,5 billion people to the cities. Solutions to improve environmental comfort are imperative, since people spend between 80% and 90% of their lives indoors. The aim of this research was to analyse the quantitative of Thermal Discomfort Frequency (FDT) related to the consumption of kilowatt-hours (kWh) needed to maintain a naturally ventilated environment in the minimum comfort conditions, and using, when necessary, air conditioners. Environments with two window models were evaluated in multifamily residential buildings located in the city of Vitória/ES. The methodological steps were: 1. Definition of the evaluation periods and parameters proposed by the American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE 55), with building model, characteristics and physical properties of the building materials; 2. Simulations, considering the operating temperature; And 3. Determination of the FDT, the kWh values and the financial cost for cooling. The results showed that the consumption of kWh for model M2 was lower than for the most used model denominated M1. The use of components that allowed constant ventilation and window shading were important factors on the improvement of the thermal performance of the building, demonstrated by the savings of R\$ 476,05 for the 91 days simulated, what represents a decrease of 36,44% of the quantity of kWh needed for refrigeration.

Keywords: Efficient windows; energy consumption; thermal discomfort frequency

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional ano base 2015 (BEN, 2016), os setores residencial, comercial e público consumiram 13% do total de energia produzida e 43% do total produzido de eletricidade, mesmo havendo uma redução de 2,1% em relação a 2014 (RESENHA..., 2016). A economia no consumo de energia em 2015 ocorreu, provavelmente e entre outros fatores, em função das medidas adotadas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que investe em projetos e tecnologias certificando equipamentos com melhores níveis de eficiência energética.

Ressalta-se que na última pesquisa sobre posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005 (ELETROBRÁS, 2007), o setor residencial registrou que, dentre os equipamentos de maior consumo de eletricidade, estavam o condicionador de ar, responsável por 20%; a geladeira com 22%; e o chuveiro elétrico com 24%.

O aumento mundial da urbanização desencadeia desafios para o desenvolvimento sustentável, intensificado principalmente pelo aumento da população nas cidades. As projeções para 2050 das Nações Unidas demonstram que a urbanização, associada ao crescimento da população mundial poderá trazer 2,5 bilhões de pessoas para as cidades (UNITED..., 2014). Para Rupp, Vásquez e Lamberts (2015), este crescimento urbano, entre outros fatores, influencia nas características internas dos ambientes, que resulta na necessidade do uso de sistemas mecânicos de refrigeração ou de aquecimento. Além disso, de acordo com os autores, observa-se que as pessoas passam entre 80% e 90% de suas vidas em ambientes fechados sendo então indiscutível a busca de soluções para melhoraria do conforto ambiental com o mínimo consumo energético.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2015), estima o potencial de redução de consumo de energia elétrica de aproximadamente 30% para as edificações existentes, por meio da implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas na envoltória, como por exemplo, adoção de estratégias passivas. Para as edificações novas o percentual se eleva para 50%, conforme o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2015).

No Brasil, as normativas referentes às questões de melhoria da eficiência energética nas edificações iniciaram em 1985, com o Procel. Em 2001 foi aprovada a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001) relacionada à temática da Eficiência Energética. Este ato reforça o Procel, que lançou a sua ação por meio do programa denominado Procel Edifica, em 2003. Um dos resultados deste plano foi a publicação do relatório de Avaliação de Eficiência Energética através do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2012a), e documentos complementares. E em 2010 o governo aprova o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R - (BRASIL, 2012).

Em 2005, foi aprovada a norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), que determina parâmetros relacionados ao desempenho térmico de edificações. Esta normativa prescreve diretrizes para o uso da ventilação em sete, das oito zonas bioclimáticas brasileiras, sendo que apenas para a zona 1 a ventilação natural como estratégia passiva não é recomendada, por ser a região mais fria do país. A ventilação cruzada foi recomendada para as zonas 2, 3 e 5, onde é possível manter o fluxo de ar através das aberturas, portas e janelas; a ventilação seletiva, recomendada para as zonas 4, 6 e 7, indicada nos períodos mais quentes ou quando a temperatura interna for superior à externa; e a ventilação permanente para a zona 8, pela necessidade de ventilação para a melhoria das condições térmicas internas.

A estratégia de ventilação natural em edificações é empregada desde os tempos antigos e tem sido ignorada em muitas das construções modernas pelo advento dos sistemas de condicionamento artificial (LIN; CHUAH, 2011). No entanto, de acordo com Fisk (2000), a utilização da ventilação natural pode amenizar os efeitos negativos do condicionamento artificial, visto sua influência diretamente na saúde, na produtividade e no bem estar geral dos ocupantes.

Observa-se que o uso da ventilação natural em edifícios comerciais demonstrou uma redução de até 40% no consumo de energia quando comparados com ambientes somente refrigerados mecanicamente. Constatou-se, ainda, que o uso de aberturas que permitem a ventilação noturna amenizam as condições térmicas nos ambientes (STAVRAKAKIS et al., 2012, FAGGIANELLI et al., 2014). Também nas pesquisas desenvolvidas por Rupp e Guisi (2012), foi observado que o uso da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis, no período de um ano, produziu uma economia de energia elétrica de 31,9%, porém os autores destacam que podem aver usuários insatisfeitos nos períodos mais quentes, necessitando de condicionadores de ar.

De acordo com Stavrakakis et al., (2012), o custo energético de um edifício ventilado naturalmente é 40% menor do que um edifício condicionado artificialmente, e que os benefícios de quando se faz uso da ventilação natural são de grande importância na redução do consumo de energia e melhoria das condições

térmicas do ambiente, sendo a principal estratégia recomendada para edificações localizadas em clima tropical (FAGGIANELLI et al., 2014).

Sorgato, Versage e Lamberts (2011) comprovaram que o uso de aberturas com dispositivo de sombra horizontal em dormitórios de edifícios residenciais multifamiliares, localizados no Brasil, contribui para a diminuição dos graus-hora de resfriamento e da temperatura operativa em todas as orientações. Os autores salientaram a importância do recurso do dispositivo externo para reduzir os ganhos solares, evitando o efeito estufa, podendo também ocorrer à minimização do efeito da transmitância térmica da abertura, principalmente para regiões mais frias.

A importância do uso de dispositivos de sombreamento está na definição das condições térmicas dos ambientes que possibilitam visibilidade e melhor desempenho térmico do ambiente (FONTENELLE; BASTOS, 2014); menor consumo de energia (JINKYUN; YOO; KIM, 2014); e diminuição dos ganhos solares diretos pelas áreas envidraçadas (NIU, 2004).

Conforme já identificado anteriormente por Nico-Rodrigues e Alvarez (2011), a definição do tipo de janela mais adequado para proporcionar melhores condições térmicas no ambiente residencial para a cidade de Vitória, devem conter elementos permeáveis, dispositivos de sombra, dimensões adequadas, localização favorável; visibilidade e, principalmente, a condição de operabilidade pelo usuário.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) relacionado ao consumo de quilowatt-hora (kWh) necessário para manter um ambiente ventilado naturalmente nas condições mínimas de conforto, utilizando, quando necessário, condicionadores de ar. Foram avaliados ambientes com dois modelos de janelas, em edifícios residenciais multifamiliares tendo como recorte territorial para estudo de caso, a cidade de Vitória/ES.

## 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos adotados para a obtenção dos resultados podem ser sintetizados em três etapas fundamentais:

1. Definição dos períodos de avaliação e dos parâmetros propostos pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE 55), com o estabelecimento do modelo de edificação, características e propriedades físicas dos materiais construtivos;
2. Simulações, considerando a temperatura operativa como fator de avaliação; e
3. Determinação da FDT, dos valores de kWh e do custo financeiro para resfriamento.

### 3.1 Condicionantes de projeto e as propriedades físicas dos materiais

Para referência de temperatura de conforto foram adotados os parâmetros definidos pela ASHRAE (ASHARE, 2010) com aceitabilidade de 90%, definindo a temperatura de referência para cada mês, variando de acordo com a temperatura do ar exterior (Figura 1).

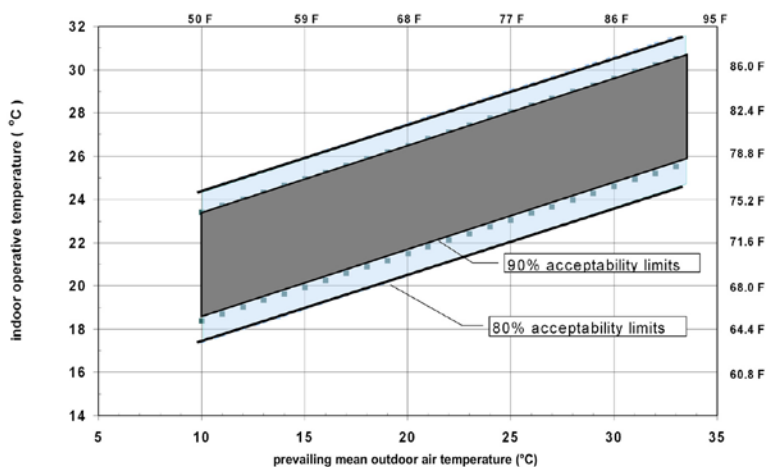


Figura 1 – Limites de temperatura de conforto (ASHARE, 2010).

O modelo de edifício adotado possui cinco pavimentos, sendo o térreo de pilotis e os apartamentos tipo constituídos de dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e banheiro (Figura 2), com

aproximadamente 70 m<sup>2</sup>, destacando-se ser a tipologia mais comercializada na região da cidade de Vitória (SINDUSCON-ES, 2016). O ambiente analisado foi o dormitório 1 em realce na Figura 2, localizado no 1º pavimento (sobre o piso do pilotis), e com a orientação da janela voltada para oeste, de acordo com os resultados obtidos por Nico-Rodrigues (2015) como sendo a pior situação para a estação do verão.

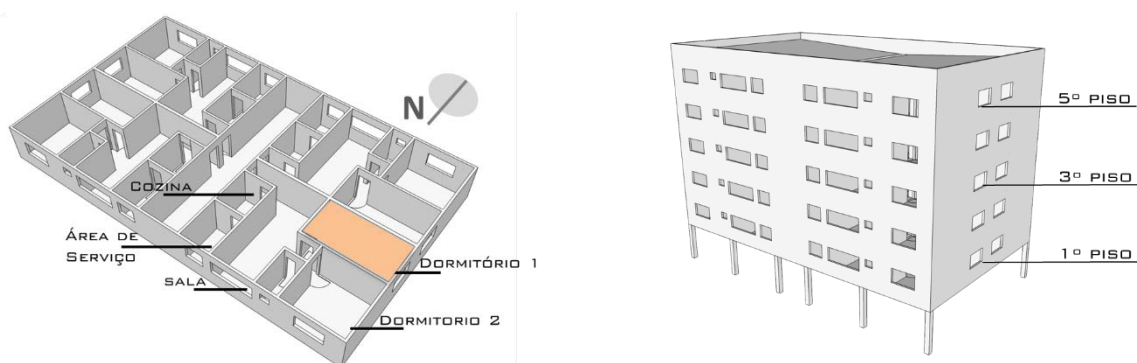


Figura 2 – Planta representada à esquerda e perspectiva da edificação à direita

A cidade de Vitória está localizada na Zona Bioclimática 8 (ABNT, 2005) e o uso da ventilação natural foi justificado pela predominância do vento no quadrante NE, com maiores frequências de velocidade para 3, 6-5 e 7m/s. Conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a frequência dos ventos na região possibilita o uso da ventilação natural como recurso para amenizar o desconforto térmico, principalmente nos meses mais quentes.

As dimensões das janelas seguem a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), considerando 8% da área de piso para a região Sudeste. As janelas definidas como M1 e M2 (Figura 3) foram localizadas nas paredes externas, com peitoris de 1,0 m de altura. Os modelos de janelas utilizados nas simulações possuem as seguintes características: o modelo M1, comumente utilizado nas edificações de acordo com Nico-Rodrigues (2015), possui marco com um caixilho, duas folhas com panos de vidro e no sistema de correr, sem proteção solar; e o modelo M2, considerando as mesmas dimensões possui panos em venezianas e dispositivos de sombra na largura da janela que permitem a ventilação constante, considerado por Nico-Rodrigues (2015) uma proposta mais eficiente. A porta do ambiente é o segundo elemento para permitir a ventilação cruzada.



Figura 3 – Modelos de janelas analisados nas simulações (NICO-RODRIGUES, 2015).

Foram utilizados os valores referenciais das propriedades térmicas dos componentes construtivos da envoltória, as características da vestimenta e o tipo de atividade realizada pelo usuário definidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), apresentados na Tabela 1. A escolha do tipo de vestimenta e de atividade está relacionada com o período do verão, considerando ser a estação mais quente e que necessita de maiores estudos para a obtenção de conforto térmico.

Tabela 1– Detalhamento das camadas das paredes e lajes com as propriedades dos materiais (continua)

| Área do ambiente = 13,00m <sup>2</sup>       |   |
|--|---|
| Dimensões da janela e área                   | 1,80m x 1,30m = 2,34m <sup>2</sup>              |
| Área de ventilação M1                        | 1,17m <sup>2</sup>                              |
| Área de ventilação M2                        | 1,17m <sup>2</sup> de ventilação pela veneziana |
| Transmitância térmica paredes (U)            | 1,76 W/(m <sup>2</sup> .K)                      |
| Emissividade (ε) das paredes e piso          | 0,9   |
| Absortância (α) das paredes e piso           | 0,3   |
| Transmitância térmica do vidro inc. 6 mm (U) | 5,77 W/(m <sup>2</sup> .K)                      |
| Densidade de ocupação                        | 0,14 pessoa/m <sup>2</sup>                      |

(conclusão)

|   |   |
|---|---|
| Vestimenta  | 0,5 clo   |
| Metabolismo Atividade – leitura                             | 115 W/pessoa  |
| Padrão de ocupação: 2 pessoas                               | <b>Diurno</b><br>100% (7h00 – 10h00)<br>50% (10h00 – 12h00 e 16h00 – 19h00)<br>0% (13h00 – 16h00)   |
|   | <b>Noturno</b><br>100% (24h00 – 7h00)<br>50% (19h00 – 20h00)  |
| M1 – janela comumente utilizada nas edificações             | <b>8h00 – 21h00</b> - 100% Janela aberta = 50% do vão<br><b>21h00 – 8h00</b> - Janela fechada – 0% de abertura = fechada 50% do vão com o vidro |
| M2 – Janela indicada por Nico-Rodrigues (2015)              | <b>24 horas</b> - 100% Janela aberta = 50% do vão fechado com vidro   |
| Folha com vidro   | <b>08h00 – 21h00</b> - 100% Janela aberta = 50% do vão – sobreposição a folha com vidro   |
| Folha com veneziana   | <b>21h00 – 8h00</b> - Janela fechada – 0% de abertura fechada 50% com a veneziana   |
| Obs.: o sistema de abertura de correr possibilita no máximo | 50% de abertura do vão  |
| Iluminação artificial                                       | 5 W/m <sup>2</sup>  |

Fonte: elaborado a partir de ABNT (2013b)

### 3.2 Simulações

As simulações foram realizadas por meio do *software Design Builder* (DESIGN..., 2012) e o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) referente ao período de 2000 a 2010 obtidos junto ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEE, 2012). As simulações ocorreram no período do verão (21/dez. a 21/mar. = 91 dias) por ser o mais quente na região, conforme definido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), e para as 24 horas do dia. Os resultados das simulações tiveram como dados de saída a temperatura operativa para cada hora do dia e no período estabelecido.

Os valores de temperatura operativa horária foram avaliados, tendo como referência o valor de temperatura de conforto definida pela ASHRAE (ASHARE, 2010), para cada mês do verão. Os valores de temperatura operativa horária que estiveram acima do valor referencial de temperatura de conforto foram quantificados por meio da FDT, determinando o percentual de horas em desconforto térmico.

### 3.3 Determinação da FDT em relação ao consumo de energia e custos financeiros para o resfriamento

Os resultados das simulações foram analisados por meio da FDT, que equivale ao percentual de tempo, hora inteira, em que a temperatura operativa está acima do valor máximo da temperatura de conforto estabelecida pela ASHRAE 55 (ASHARE 55, 2010). Este índice é mencionado na norma Europeia EN 15.251 (EN, 2007) alicerçada no conceito de conforto adaptativo, e também no RTQ-C (BRASIL, 2012), pelo índice POC (Porcentagem de horas Ocupadas em Conforto), com conceito análogo.

A FDT quantifica as horas em desconforto na unidade de porcentagem, durante um determinado intervalo de tempo, e o valor máximo remete ao limite máximo do período. Nesta pesquisa, a proposta analisou períodos diários (24 horas), correspondendo à frequência máxima de 100% de desconforto. Para obter o percentual equivalente a cada hora do dia, foi dividida a frequência máxima de 100% pelas 24 horas do dia, resultando em 4,16% de desconforto térmico por cada hora.

Para este estudo analisou-se o consumo de energia elétrica no uso de mecanismo de refrigeração artificial, objetivando manter as temperaturas no valor da temperatura de conforto definida pela ASHRAE (ASHARE 55, 2010). Para o alcance das condições de conforto, foi selecionado um equipamento com o selo “A” do Procel (PROCEL, 2015) definido nos critérios de eficiência energética do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, (INMETRO, 2016). O modelo selecionado compreendeu o aparelho marca Consul CCY12D, de janela, 12000 BTUs, Frio.

Para a definição do quantitativo de kWh foi considerado o somatório da FDT ( $\Sigma$  %) ao longo dos 91

dias simulados. Este valor foi transformado em horas (4,16%/h), resultando na quantidade de horas em desconforto e que necessitariam do uso da refrigeração artificial para manter a temperatura operativa, nos limites de referência da temperatura de conforto. Para a definição da quantidade de kWh consumidos neste período, foi adotado o valor consumido pelo aparelho, de acordo com dados do fabricante 1,125 kWh (CONSUL, 2016). Para a obtenção do consumo energético, o valor de kWh foi multiplicado pela quantidade de horas de desconforto, referente aos 91 dias simulados, considerando a necessidade de uso do condicionador de ar para manter o ambiente na temperatura de conforto definida pela ASHRAE (ASHARE, 2010).

Para a obtenção dos custos financeiros em Reais (R\$) referente ao consumo de energia elétrica para refrigerar o ambiente com cada modelo de janela utilizou-se dados da distribuidora de energia elétrica do Espírito Santo, EDP (Energias de Portugal) ESCELSA (Espírito Santo Centrais Elétricas S.A), e de acordo com a resolução homologatória nº 2.118 de 2 de agosto de 2016, que determina as Tarifas de Energia (TE) e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) referentes à ESCELSA. A edificação analisada se enquadra como parte do subgrupo “B1-Residencial” com tarifa para TUSD de 0,22126 R\$/kWh e para a TE 0,23361 R\$/kWh (EDP ESCELSA, 2017).

É importante salientar que foi considerado para os cálculos, a Bandeira Tarifária Verde, que não causa nenhuma alteração nos valores das tarifas. Além dos valores tarifários, considerou-se também os impostos (tributos) do Programa de Integração Social - PIS; o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público - PASEP; e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, que sofrem uma leve variação mensalmente (dez/2016, jan/2017, fev/2017, mar/2017 foram os meses considerados) e o Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços - ICMS que tem o valor fixo de 25%, seguindo os valores de cálculos utilizados pela EDP ESCELSA (EDP ESCELSA, 2017). A Equação 1 representa o cálculo da Tarifa com tributos.

$$\text{Tarifa com tributos} = \frac{\text{Tarifa ANEEL}}{1 - \frac{\text{Tributos \%}}{100}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Tarifa ANEEL é a soma das tarifas TUSD + TE [R\$];

Tributos é a soma dos impostos de PIS/PASEP + COFINS + ICMS [%].

O valor encontrado, é então, multiplicado pela quantidade de kWh de acordo com a Equação 2.

$$\text{Valor final da fatura} = \text{Tarifa com tributos [R\$]} \times \text{Consumo [kWh]} \quad \text{Equação 2}$$

#### 4. Análise de resultados

Os resultados seguem apresentados em três etapas: a primeira, com os valores das temperaturas médias mensais externas e as temperaturas referenciais; a segunda com a representação da variação da temperatura operativa em relação à temperatura de conforto, resultando no quantitativo de FDT; e a terceira demonstrando o consumo de kWh e os gastos finais em moeda corrente (R\$) para resfriar o ambiente analisado com o uso do aparelho condicionador de ar.

##### 4.1. Temperaturas média mensal externa e de conforto

Para a obtenção e comparação dos resultados foram utilizados os parâmetros de temperatura estabelecidos pela ASHRAE (ASHARE 55, 2010) para cada mês do verão, de acordo com a temperatura média mensal obtida (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de temperatura média mensal externa e a temperatura de conforto

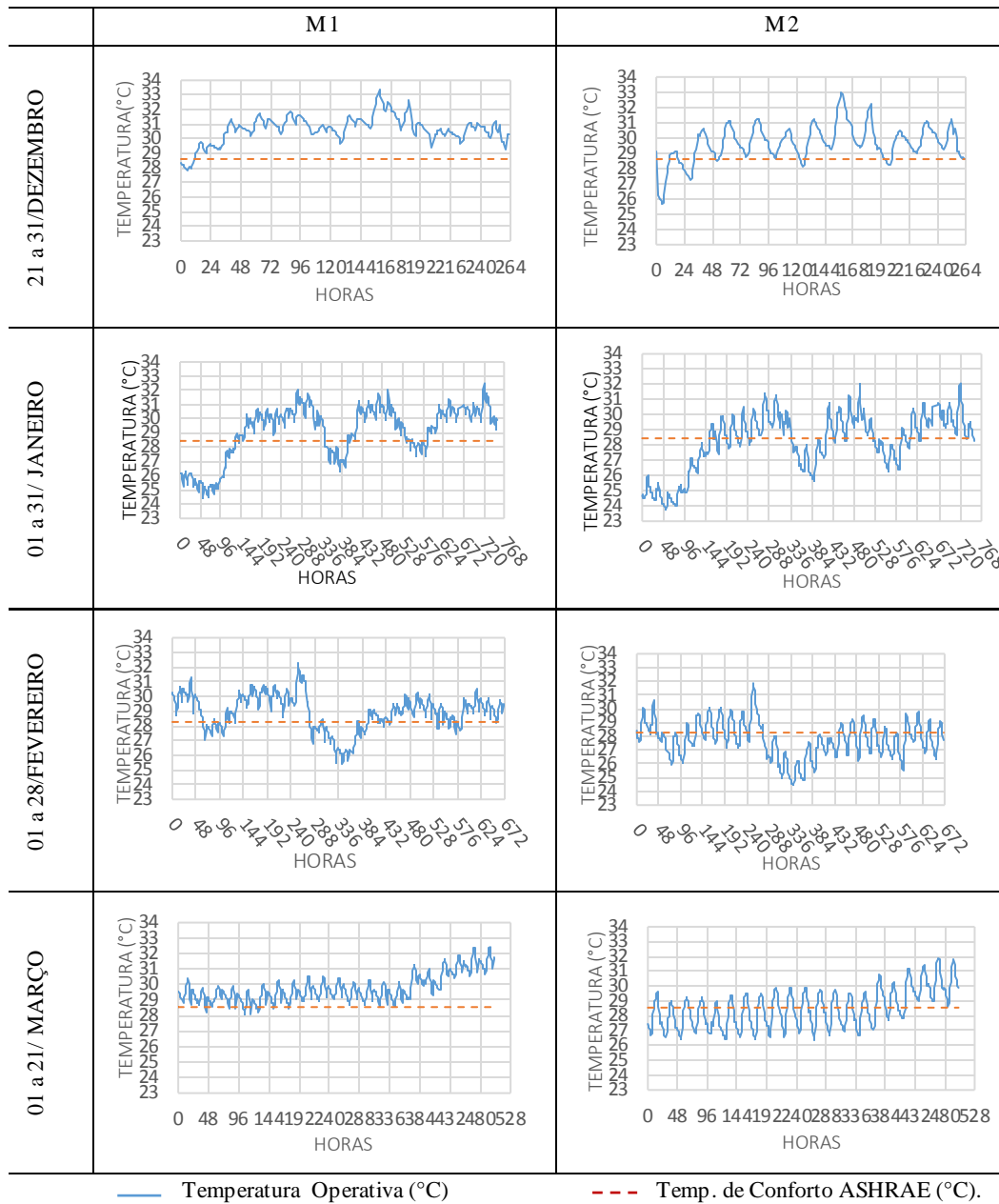
| Meses     | Temperatura média mensal do ar externo (°C) | Temperatura neutra (°C)<br>Tn=0,31(Te)+17,8 | Intervalo de Temperatura de conforto (°C) ASHRAE 55<br>90% aceitabilidade | Temperatura de conforto da ASHRAE °C |
|-----------|---|---|---|--------------------------------------|
| Dezembro  | 26,8  | 26,1  | 23,6 – 28,6   | 28,6                                 |
| Janeiro   | 26,3  | 25,9  | 23,4 – 28,4   | 28,4                                 |
| Fevereiro | 25,7  | 25,7  | 23,2 – 28,2   | 28,2                                 |
| Março     | 26,6  | 26,0  | 23,5 – 28,5   | 28,5                                 |

##### 4.2. FDT resultante da variação da temperatura operativa horária

Com os resultados das simulações (Tabela 3) compararam-se as FDT para cada modelo de janela ao longo dos meses do verão. Os resultados do modelo M2 demonstraram uma diminuição considerável nas horas de

desconforto, ou seja, 631,02 horas a menos de desconforto em relação ao modelo M1. Essa diferença ocorreu, entre outros fatores, pelo dispositivo utilizado no modelo M2 que permite sombrear as áreas envidraçadas e as áreas abertas, como também pela ventilação constante proporcionada pelo modelo.

Tabela 3 – Frequência de desconforto térmico nos meses do verão



Todos meses apresentaram melhorias nos resultados com a utilização do modelo M2 (Gráfico 1). No mês de dezembro (referente aos 11 dias avaliados) houve uma diminuição de 31 horas em desconforto. No mês de janeiro, os resultados demonstraram um percentual menor de horas em desconforto, quando comparados os outros meses, sendo menos expressivo, com 99,16 horas. Em fevereiro obteve-se resultados melhores nos 28 dias simulados, havendo uma redução de 264,42 horas no desconforto térmico. Durante o mês de março, foram simulados 21 dias, e os resultados também foram expressivos, refletindo em 236,17 horas de desconforto térmico em relação ao modelo M1.

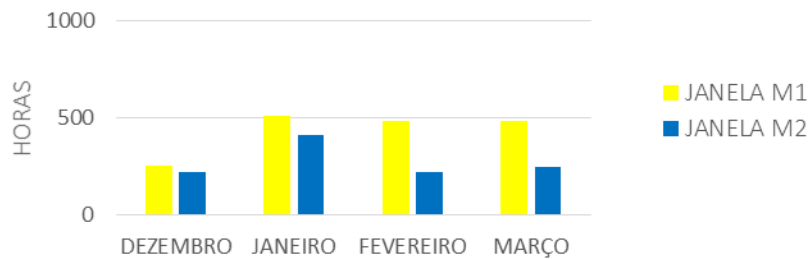


Figura 1 – Horas de desconforto para cada mês do verão

#### 4.3 Consumo energético (kWh) e custos financeiros (R\$)

Os resultados de FDT possibilitaram quantificar os kWh necessários para atingir a temperatura de conforto definida (Figura 2). O modelo M1 totalizou 1731,34 horas em desconforto térmico no período do verão, o que implicou em um consumo de 1947,76 kWh para manter a temperatura de conforto definida pela ASHRAE (ASHARE 55, 2010). Por sua vez, o modelo M2 totalizou 1100,32 horas em desconforto térmico, resultando no consumo de 1237,86 kWh de energia com o uso do condicionador de ar.

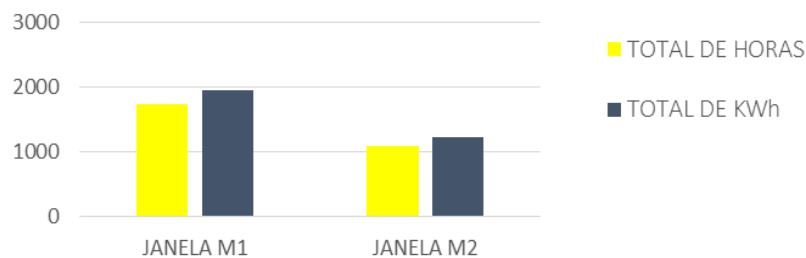


Figura 2 – Consumo energético para as horas de desconforto

A diferença de valores reais gastos com a conta de energia elétrica (considerando impostos) para cada modelo de janela possibilitou indiscutível economia ao longo dos meses analisados (Figura 3). Durante os 11 dias avaliados no mês de dezembro a economia foi de R\$ 23,02. Para o mês de janeiro, durante os 31 dias, obteve-se uma economia de R\$ 73,69. O mês de fevereiro demonstrou o melhor resultado com uma diferença de R\$ 200,61 entre os modelos. Para os 21 dias analisados no mês de março, a janela M2 proporcionou uma economia de R\$ 178,73. Ao longo dos 91 dias simulados o uso da janela M1 gerou um gasto de R\$ 1.300,02 com o uso do aparelho de condicionador de ar. Por sua vez, com o uso da janela M2 foram gastos R\$ 823,97 no mesmo período de tempo.

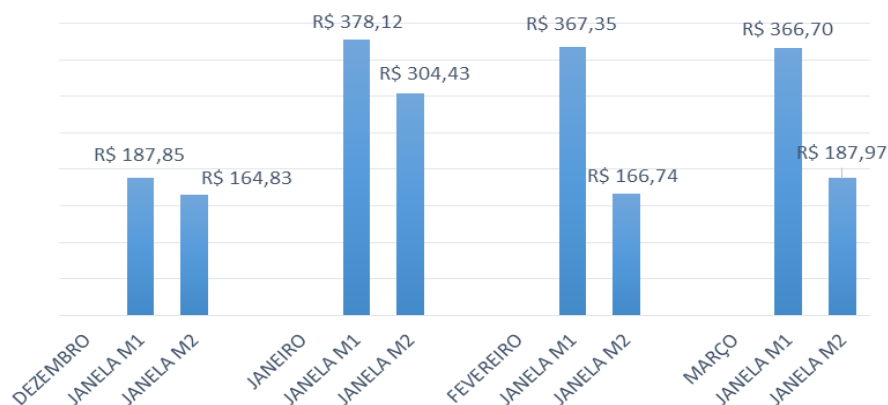


Figura 3 – Valores gastos com energia elétrica na utilização do condicionador de ar

A melhoria proporcionada pelo modelo M2 representou 631,02 horas a menos em desconforto térmico ao longo dos meses do verão, o que resultou em 36,44% de economia de energia, que significa uma diferença de R\$ 476,05, somente para os 91 dias simulados. Os resultados obtidos reafirmam a necessidade do sombreamento nas janelas e, principalmente, a ventilação constante, fatores essenciais para a redução da



quantidade de energia necessária para resfriar o ambiente simulado (Figura 4).

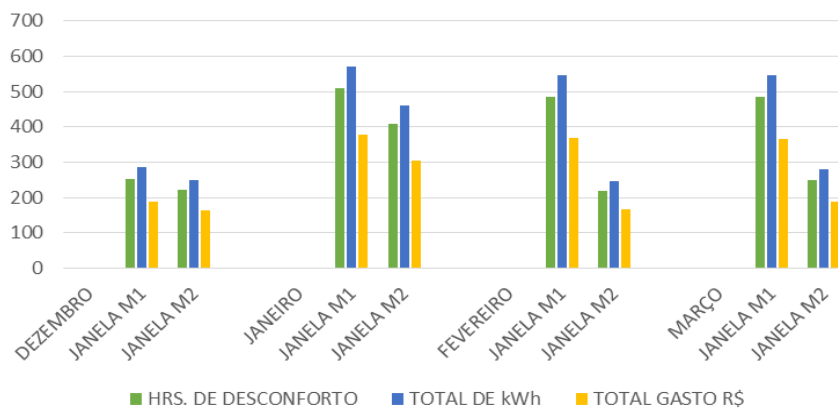


Figura 4 – Comparação dos valores das horas de desconforto, kWh e valores gastos para cada janela

## 5. CONCLUSÕES

A ventilação natural é um dos condicionantes climáticos que mais influenciam no desempenho energético nas edificações localizadas em regiões tropicais, principalmente quando as condições para o uso da mesma são favoráveis e descritas como diretrizes nas normativas. Observou-se que o uso adequado de modelos de janelas é fundamental para a ventilação interna resultando no melhor desempenho do edifício. Mesmo tendo controvérsias, os parâmetros de temperatura de conforto definidos pela ASHRAE (ASHARE 55, 2010), em relação ao seu uso para climas tropicais, ainda são parâmetros que retratam melhor as condições ambientais. Somado às estratégias passivas, ressalta-se que as ações adaptativas utilizadas pelos usuários são atitudes que auxiliam na melhoria das sensações térmicas, resultando na aceitação de temperaturas de conforto mais elevadas.

Os resultados de FDT obtidos para cada modelo de janela demonstrou que o uso de janelas eficientes, e de acordo com as prescrições da normativa brasileira NBR 15.220 (ABNT, 2005), foi decisivo para a melhoria das condições internas. O modelo M2 demonstrou menor necessidade de uso do ar condicionado como meio de atingir as condições de conforto térmico, registrado pelo consumo de kWh. Este modelo possui componentes que possibilitam a ventilação cruzada e seletiva, ou seja, ventilação permanente. A partir dos resultados, concluiu-se que a janela sem proteção das áreas vítreas e sem componente que permite a ventilação permanente não é adequada e demonstra um desempenho ruim para o conforto térmico, indicando ambientes com a necessidade de uso de refrigeração mecânica, elevando assim o consumo de energia.

As diretrizes descritas nas normas de desempenho, NBR 15.220 (ABNT, 2005) e ASHARE (ASHARE 55, 2010) registram a necessidade do uso da ventilação, bem como janelas com dispositivos que permitem sua influência no ambiente, objetivando principalmente a diminuição do consumo de energia. Os resultados demonstraram que o modelo adequado de janela permitiu uma redução de 36,44% de kWh no consumo energético, o que equivale a R\$ 476,05 de economia financeira proporcionado pela redução no uso de condicionadores de ar para obtenção da temperatura de conforto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE 55 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55. **Thermal Environmental Conditions for human Occupancy**. Atlanta, 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.
- BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2016. **Relatório final 2016: ano base 2015**. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)> Acesso em 18 fev. 2016.
- BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n. 449, 25 de novembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

- BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n. 372, 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2012a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de outubro. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- CONSUL. Disponível em: <<http://www.consul.com.br/produto/ar-condicionado-janela-12-000-btu-eletronico/#especificacoes>>. Acesso em 15 fev. 2016.
- DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA. Version 3.0.0.105. 2012.
- ELETOBRÁS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Classe Residencial Relatório Sudeste**. Rio de Janeiro: ELETOBRAS; PROCEL, 2007. 181 p.
- EDP ESCELSA - ESPÍRITO SANTO CENTRAIS ELÉTRICAS, 2017. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/comerciais/tabela-do-calculo-pis-pasep-confins/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- EDP ESCELSA - ESPÍRITO SANTO CENTRAIS ELÉTRICAS, 2017. Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/grandes-clientes/tarifas/Documents/TABELA%20DE%20TARIFAS%20MT%20AT%20Escelsa.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- EN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Brussels, 2007.
- FAGGIANELLI G. A.; BRUN, A.; WURTZ, E.; MUSELLI, M. Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 206–218, 2014.
- FISK, W. J. Health and Productivity gains From Better Indoor Environments and Their Relationship With Building Energy Efficiency. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 25, n. 1, p. 537-566, 2000.
- FONTELE, M. R.; BASTOS, L. E. G. The multicriteria approach in the architecture conception: Defining windows for an office building in Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 74, p.96-105, 2014. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314000080>>. Acesso em: 05 dez. 2016.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2016. Acesso em 29 fev. 2016.
- JINKYUN, C.; YOO, C.; KIM, Y. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 771-785, 2014. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.092>>. Acesso em: 28 nov. 2016.
- LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2012. Arquivos climáticos em formato EPW. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acesso em: 2 set. 2012.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. PW: São Paulo, 2014.
- LIN, J.; CHUAH, Y. K. A STUDY ON THE Potential of Natural Ventilation and Cooling For Large Spaces in Subtropical Climatic Regions. **Building and Environment**, v. 46, n. 1, p. 89-97, 2011.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015. **Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas**. Disponível em: <[http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-dos-Plano\\_Nacional\\_de\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-dos-Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf)>. Acesso em 10 mar. 2016. Acesso em 10 mar. 2016.
- NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. 2015. 202f. Tese – Univerdidad del Bio-Bio, Concepción. 2015.
- NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Método de Avaliação de Desempenho para Janelas em Residências Multifamiliares em Vitória-ES: Ênfase no Conforto Proporcionado pela Ventilação. **Habitat Sustentable**, v.1, p. 14-24, 2011. Disponível em:<<http://revistahabitatsustentable.cl/inicio.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- NIU, J. Some significant environmental issues in high-rise residential building design in urban areas, **Energy and Buildings**, v. 36(12), p. 1259-1263, 2004. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804000581>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**, 2015.
- RESENHA MENSAL DO MERCADO DE ENREGIA ELÉTRICA. Consumo de eletricidade recua 2,1% em 2015. Ano IX, n. 100, jan. 2016. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20EI%20C3%A9trica%20-%20Dezembro%202015.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2017.
- RUPP R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica em edificações comerciais híbridas localizadas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 143-160, 2013.
- RUPP R. F.; VÁSQUEZ G. N.; LAMBERTS R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178-205, 2015.
- SINDUSCON-ES - SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESPÍRITO SANTO –. Acesso em: 10 fev. 2016.
- SOGARTO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **Sombrear ou não sombread as janelas**. Nota Técnica nº02/2011. Disponível em:<[www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/](http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/)>. Acesso em: 15 nov. 2016.
- STAVRAKAKIS, P. L. ZERVAS, H. SARIMVEIS, N. C. MARKATOS. **Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings**. Applied Mathematical Modelling, v. 36, 193–211. 2012.
- UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects**, 2014. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2016. Acesso em 15 abr. 2016.
- YIN, W.; ZHANG, G.; YANG, W.; WANG, X. Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China. **Building and Environment**, v.45, p. 338–344, 2010.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e pela Fundação de Amparo à pesquisa do Espírito Santo – FAPES.