



OTIMIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR COM BASE EM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: USO DA FERRAMENTA EMS DO ENERGYPLUS

Rodrigo Karini Leitzke (1); Oberdan Mendonça da Silva (2); Eduardo Grala da Cunha (3); Antonio César Baptista da Silva (4)

(1) Aluno de graduação, rkleitzke@inf.ufpel.edu.br, UFPel

(2) Arq. Mestrando do PROGRAU, oberdan_ms@hotmail.com, UFPel

(3) Arq. Dr. Professor Adjunto PROGRAU – eduardo.grala@ufpel.edu.br, UFPel

(4) Arq. Dr. Professor Adjunto PROGRAU – antoniocesarsbs@gmail.com, UFPel

RESUMO

Este artigo trata de medidas de otimização do consumo de energia elétrica em um contexto de expansão urbana e dos impactos da produção de edificações de baixa eficiência energética que se refletem na demanda por energia elétrica. Nesse contexto o desempenho de sistemas de proteção solar cumpre um importante papel, considerando as variadas possibilidades de configurações de *brise-soleils* (fixos, móveis - mecânicos ou automatizados), que impactam no desempenho lumínico, térmico e energético das edificações. Tem como objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho de um sistema de proteção solar de uma edificação com elevado nível de isolamento térmico utilizando para isso a ferramenta Energy Management System (EMS) do software EnergyPlus. As estratégias metodológicas propostas envolvem a análise da configuração de cinco diferentes sistemas de proteção solar para os fechamentos transparentes, modelagem dos *brise-soleils* fixos, implementação do EMS e por fim, análise dos resultados das simulações realizadas. Foram avaliados os percentuais de conforto térmico em todo ano e o comportamento da temperatura interna nas semanas típicas de inverno e verão. Os casos simulados apresentaram elevados níveis de conforto térmico com temperaturas internas próximas da temperatura neutra, obtendo no melhor caso com a utilização persianas externas automatizadas pelo sistema EMS nos fechamentos transparentes, 88,73% de conforto térmico para a Zona Bioclimática 2, que possui estações com temperaturas bem definidas.

Palavras-chave: Proteção solar, *brise-soleil*, eficiência energética, EnergyPlus

ABSTRACT

This article deals with measures to optimize the consumption of electric energy in a context of urban expansion and with the impacts of the production of buildings with low energy efficiency that impact in the demand for electric energy. In this context, the performance of solar protection systems plays an important role, considering the varied possibilities of *brise-soleils* configurations (fixed, mobile - mechanic or automated), which impact on the lighting, thermal and energetic performance of buildings. It aims to conduct a comparative study of the performance of a solar protection system of a building with a high level of thermal insulation using the Energy Management System (EMS) tool of the EnergyPlus software. The methodological strategies proposed involve the analysis of the configuration of five different solar protection systems for the transparent closures, fixed *brise-soleils*, EMS implementation and, finally, analysis of the results of the simulations. The percentage of thermal comfort were evaluated throughout the year and the behavior of the internal temperature in the typical weeks of winter and summer. The simulated cases reached high levels of thermal comfort with internal temperatures close to the neutral temperature, achieving in the best case with the use of external blinds automated by the EMS system in the windows, 88.73% of thermal comfort for the Bioclimatic Zone 2, which has seasons with accentuated temperatures.

Keywords: Solar protection, *brise-soleil*, energy efficiency, EnergyPlus

1. INTRODUÇÃO

Pode-se reduzir o consumo de energia de uma edificação através da incorporação de práticas de racionalização desde o início do projeto até a execução. Uma das formas de obter esta eficiência na arquitetura é utilizar as recomendações bioclimáticas para o local que se está inserido (OLGYAY, 1963), analisando as possibilidades que visam tratamento da envoltória adequado à região climática e melhorando as trocas térmicas para a melhoria do conforto dos usuários (GIVONI, 1998). As edificações são responsáveis por 51% do consumo de energia elétrica no Brasil (BEN, 2016), e neste sentido, com o objetivo de promover a eficiência energética dos edifícios, uma das alternativas é a otimização de dispositivos de sombreamento a partir do método de simulação computacional. O *brise* é um dispositivo de controle de radiação solar que auxilia no desempenho termoenergético das edificações e pode ser projetado de variadas formas. Influencia diretamente no envoltório da edificação ou por inteiro na própria fachada, na difusão e controle da entrada de luz visível e como controlador dos ganhos de radiação (ondas curtas) para atenuar o efeito estufa dos ambientes internos, diminuindo a dependência dos controladores artificiais de ar. Dessa forma, os processos de otimização podem estar voltados tanto à maximização ou minimização de uma função (ANFLOR, 2007). Assim, Segundo Bittencourt (1988), a solução correta de um *brise* é fruto da combinação adequada dos seguintes fatores: eficiência ambiental, plasticidade, privacidade, luminosidade, visibilidade, ventilação, durabilidade, custos de implantação e manutenção. Isso contribui diretamente para o conforto térmico e luminoso dos ambientes com soluções passivas.

Diversos trabalhos já realizados investigaram a redução no consumo de energia elétrica a partir do uso de proteções solares que, fazendo-se uso da simulação computacional, caracterizaram o consumo de edifícios de escritórios para diversas capitais brasileiras. Em um caso-base de um escritório de Florianópolis, com *brises* verticais e horizontais, registrou-se até 11,6% de redução no consumo de energia (SIGNOR, 1999). Vega, Cunha e Silva (2010) caracterizaram a viabilidade econômica de implantação de um sistema de proteção solar na fachada oeste de edificação hoteleira na Zona Bioclimática 2, caracterizada por possuir temperaturas altas no verão e baixas no inverno. Este estudo demonstra que através de um bom planejamento dos dispositivos de proteção solar, é possível implementá-los neste contexto climático.

A eficiência energética é medida e associada com a busca pelo máximo nível de conforto térmico e luminoso dos ambientes, com o menor consumo de energia. Nesse sentido, o *brise* encaixa-se como elemento arquitetônico que pode maximizar o nível de eficiência energética das edificações. Todavia, para um bom dimensionamento do dispositivo, considerando as zonas bioclimáticas mais frias do país, leva-se em conta o ano inteiro, períodos frio e quente, de forma a manter a temperatura de conforto, em torno de 18°C a 29°C para países em desenvolvimento. No caso de temperaturas acima de 20°C, faz-se uso do sombreamento, ou seja, o conforto térmico só é possível quando há bloqueio da radiação direta sobre as pessoas (GIVONI, 1998). Concomitante a isso, pelo método de Olgyay (1963) o conforto térmico só é possível próximo aos 29°C se as pessoas estiverem na sombra. Assim, um aspecto de grande importância para o uso de proteções solares é seu dimensionamento adequado. Utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não é o mais indicado para avaliar o aproveitamento de luz natural, devido às variações geométricas da trajetória aparente do sol ao longo do dia. Cada orientação demanda um tipo de proteção específica, seja fixa ou móvel, e para tanto a simulação computacional pode apresentar os índices do desempenho do dispositivo em cada situação, justificando o seu uso.

Os programas de simulação termoenergética de edificações são ferramentas de análise e apoio a decisões nos projetos, dando a possibilidade ao projetista de uma escolha mais criteriosa quanto à tipologia, implantação, materiais e equipamentos a serem escolhidos, bem como às características dos fechamentos opacos e transparentes. Os softwares têm se mostrado cada vez mais amigáveis para as simulações computacionais, por outro lado, exige do usuário um nível maior de conhecimento para a obtenção de bons resultados nas simulações. Neste trabalho o processo de simulação determinará o desempenho de diferentes dispositivos de sombreamento.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é avaliar e comparar o nível de conforto térmico de uma edificação com elevado nível de isolamento térmico otimizando o sistema de proteção solar com aplicação de *brises* fixos e automatização de persianas, gerando cinco propostas distintas (Tabela 1).

3. MÉTODO

O desenvolvimento do presente trabalho seguiu quatro etapas para sua execução. Na primeira etapa foram

definidas as alterações propostas pelo trabalho descritas na Tabela 1, em seguida, iniciou-se a etapa de modelagem dos *brises* fixos para a edificação discutida no subitem 3.5. Para a terceira etapa, foram implementadas as alterações que envolviam o Energy Management System (EMS). Por último foram realizadas as simulações dos casos e a análise dos dados obtidos.

Buscando avaliar os níveis de conforto térmico do modelo em estudo com diferentes dispositivos de proteção solar (Tabela 1), foi realizada a simulação computacional para cada caso, utilizando o software EnergyPlus, versão 8.4.0. A modelagem da edificação foi feita na interface gráfica do Sketchup 2015, utilizando o plug-in Legacy da Open Studio 1.0.13. O arquivo climático utilizado para a simulação foi o de Camaquã, com latitude 30° 51' 04" Sul, Zona Bioclimática Brasileira 2. Para isso, foi feito o dimensionamento das proteções solares, *brises* fixos, de modo a permitir a entrada da radiação solar direta durante o inverno e bloqueá-la no verão. A forma foi confeccionada e calculada no estudo das cartas solares, croquis e posteriormente analisada no Programa *SUN TOOL* da Autodesk. Dessa forma, foram testados e apurados 5 casos, descritos na Tabela 1, com variações de protetores solares nas janelas.

Tabela 1 – Descrição dos modelos.

Modelos	Descrição
Caso 01	Com persianas internas automatizadas (EMS);
Caso 02	Com persianas externas automatizadas (EMS);
Caso 03	Com <i>brises</i> externos fixos;
Caso 04	Com persianas internas manuais com agenda anual;
Caso 05	Sem obstrução solar

3.1. Descrição do edifício e modelagem

O projeto arquitetônico utilizado é uma residência unifamiliar adaptada ao padrão Alemão Passive House, desenvolvida na pesquisa “CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçando experiências entre Portugal e Rio Grande do Sul/Brasil” (DALBEM, 2016). Foi feito o dimensionamento das proteções solares, de modo a permitir a entrada de radiação solar direta durante o inverno e bloqueá-la no verão. O projeto foi desenvolvido com base em estratégias passivas de condicionamento térmico seguindo critérios exigidos pela *Standard Passive House* (DALBEM, 2016).

A residência possui 126,45 m² e é constituída de dois pavimentos (Figura 1), sendo que no térreo estão a cozinha e sala de estar integrados, dois dormitórios e banheiro, e o pavimento superior com área de trabalho, área técnica e lavabo. O projeto ainda contempla garagem e um solário localizado na orientação norte com cobertura e paredes translúcidas, com proteção solar na cobertura que permite aproveitar os ganhos de radiação solar para aquecimento passivo no inverno e ser bloqueada no verão. O solário poderá ser aberto para permitir a ventilação natural, durante o verão (DALBEM, 2016). O projeto foi orientado sobre o eixo leste/oeste, maximizando a fachada norte, aumentando assim os ganhos de radiação solar no inverno e reduzindo os ganhos indesejáveis no verão. A área envidraçada corresponde a 24% da área opaca do edifício. O percentual de abertura na fachada norte é de 24,95%, sul 5,93%, leste 1,97 e oeste 5,91% (DALBEM, 2016).

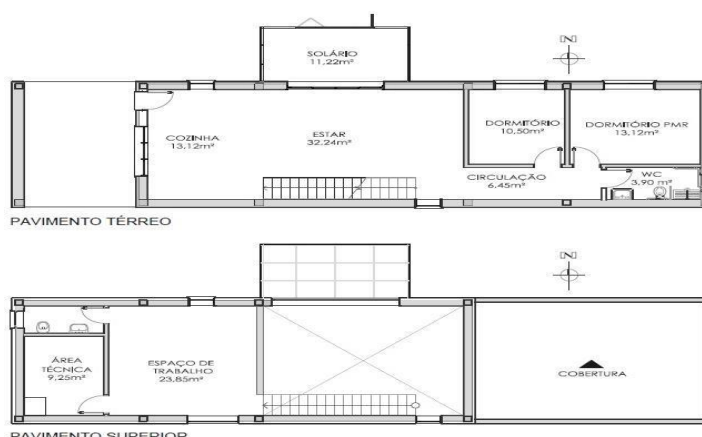


Figura 1 – Planta baixa (Autores).

3.2 Configurações gerais do modelo

Para a configuração das simulações, considerou-se o edifício com ocupação usual, tendo sido utilizados os valores padrões de iluminação, ocupação e uso dos equipamentos apresentados no RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R, 2012). As rotinas de ocupação foram configuradas separadamente para os dias de semana e para os finais de semana, conforme dados do RTQ-R (2012).

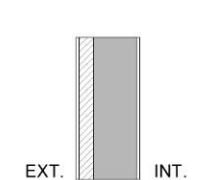
A taxa de metabolismo utilizada foi de 81 W/pessoa nos dormitórios e de 108 W/pessoa na sala/cozinha, conforme recomendado pelo RTQ-R. Já a densidade de potência instalada de iluminação foi de 6 W/m² nas salas e de 5 W/m² nos dormitórios. As agendas de iluminação foram configuradas separadamente, para os dias de semana e para os finais de semana, com os valores estabelecidos pelo regulamento.

A densidade de carga interna com equipamentos recomendada é de 1,5 W/m² para a sala, consideradas no período de 24 horas, durante todo o período da simulação. A temperatura média do solo foi calculada com o programa *Slab* vinculado ao *EnergyPlus*, com base nos valores médios das temperaturas internas e externas da edificação. O modelo de ventilação natural foi definido conforme o *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*, com as configurações de operação de aberturas e *setpoint* de operação de acordo com o RTQ-R (2012), que recomenda a temperatura de termostato de 20°C.

3.3. Configurações termofísicas da envolvente opaca

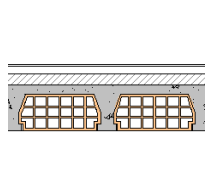
Os elementos construtivos da edificação foram adotados de modo a atender aos requisitos da *Standard Passive House*, observando a adaptação para climas quentes, onde a transmitância térmica deve ser próxima a 0,30 [W/(m².K)], para todos os elementos da envolvente opaca. As Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam as propriedades térmicas dos materiais utilizados, e a transmitância térmica (U) do elemento de construção, considerando as resistências superficiais interna e externa, de acordo com a NBR 15220.

Tabela 2 - Composição das paredes externas (DALBEM, 2016).

	PAREDES EXTERNAS			R _{si} = 0,13	R _{se} = 0,04
	Composição	e (m)	λ [W/(m.K)]	R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² k)]
	Reboco interno	0,02	1,15	0,02	0,31
	Tijolo Térmico Weber	0,24	0,22	1,07	
	Isolamento térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Reboco externo	0,02	1,15	0,02	

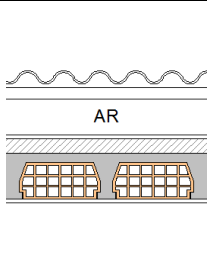
e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica, U= Transmitância.

Tabela 3 - Composição Laje de Piso (DALBEM, 2016).

	LAJE DE PISO			R _{si} = 0,17	R _{se} = 0,17
	Constituição	e (m)	λ [W/(m.K)]	R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² k)]
	Revestimento cerâmico	0,01	0,90	0,01	0,40
	Argamassa de assentamento	0,04	1,15	0,02	
	Isolamento Térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Laje pré-moldada	0,25	-	0,19	

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica, U= Transmitância.

Tabela 4 - Composição da cobertura (DALBEM, 2016).

	COBERTURA			R _{si} = 0,10	R _{se} = 0,10
	Constituição	e (m)	λ [W/(m.K)]	R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² k)]
	Reboco interno	0,02	1,15	0,02	0,32
	Laje pré-moldada	0,25	-	0,19	
	Isolamento térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Reboco externo	0,02	1,15	0,02	
	Telha de cerâmica	0,05	0,1	0,5	
	Câmara de ar	-	-	0,14	

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica, U= Transmitância.

Tabela 5 – Parâmetros utilizados para simulação (DALBEM, 2016).

Parâmetros	Valores Adotados			
	Dormitório 1	Dormitório2	Sala de Estar / Cozinha	Escritório
Padrão de uso - Ocupação (pessoa/m ²)	0,13	0,18	0,07	0,07
Padrão de uso - Iluminação (W/m ²)	5	5	6	6
Padrão de uso – Equipamentos (W/m ²)	Desligado	Desligado	2,00	2,00
Setpoint de aquecimento (°C)	22°			
Setpoint de resfriamento (°C)	24°			
Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar – COP (W/W)	Aquecimento		Resfriamento	
	2,75		3,00	

Fonte: adaptado do RTQ-R, INMETRO (2012)

3.4. Configuração dos fechamentos transparentes

As esquadrias adotadas são compostas por vidros duplos compostas por vidro Planitherm Ultra N de 6mm, camada de ar de 14mm e vidro Planilux de 6mm, apresentando fator solar (FS) de 0,57 e transmitância térmica (U_{vidro}) de 1,5 [W/(m².K)]. A caixilharia é em PVC, na cor branca, sendo que a transmitância térmica (Ucaixilharia) é de 1,5 [W/(m².K)] (DALBEM, 2016).

3.5. Configuração do EMS

O EMS é um recurso do EnergyPlus que permite realizar rotinas de execução automatizadas para os modelos desenvolvidos pela ferramenta (U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2016). Utilizando suas funcionalidades é possível realizar operações complexas para supervisionar o comportamento da edificação, bem como definir critérios para obter informações específicas durante o processo de simulação. Para simulação com o uso do EMS, *EnergyManagementSystem*, uma série de rotinas precisam ser definidas pela ferramenta. Dentro destas rotinas as funcionalidades desejadas são implementadas e acionadas para o processo de simulação. Neste trabalho, a aplicação do EMS voltou-se ao uso de dispositivos de bloqueio solar na abertura (controle de janela).

Para o processo de desenvolvimento do algoritmo aplicado no EnergyPlus para chamadas do EMS nos modelos com persianas externas e internas automatizadas (casos 1 e 2 da Tabela 1), foram convencionados dois limites de temperaturas a fim de estimar o período em que as alterações nos casos sejam realizadas. O critério utilizado levou em consideração a temperatura externa, tendo como valores limites 18°C e 29°C. O dispositivo atuará nas persianas dos dois modelos de forma parcial quando a temperatura estiver entre os dois limites. Todavia, abaixo de 18°C (baixa) o dispositivo é desativado e a persiana é aberta, já com temperatura acima de 29°C (elevada) o dispositivo é acionado, configurando um bloqueio total pela persiana automatizada. De acordo com o gráfico abaixo (Figura 2), podemos compreender o comportamento variante do EMS ao longo do ano para a edificação estudada, considerando todas as janelas onde o EMS foi utilizado nas persianas.

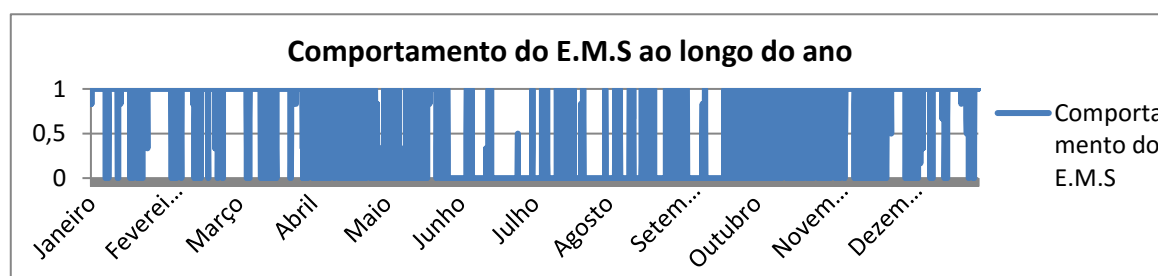


Figura 2 – Comportamento do Energy Management System ao longo do ano (Autores).

O comportamento das persianas com o EMS varia ao longo do ano de maneira parcial. Quando o valor for 1, as persianas se encontram totalmente abertas. Quando o valor for 0, as persianas estão fechadas, já para valores intermediários de 1 a 0 (temperaturas entre 18°C e 29°C), o comportamento do dispositivo nas persianas (abertura e fechamento das aletas) se dá de maneira parcial.

Para a aplicação estudada, a utilização do EMS baseou-se no fato de que o dispositivo apresenta a possibilidade de automatização da persiana de maneira parcial entre os valores de temperatura estipulados. Isto é, os resultados obtidos durante a simulação, apresentam valores entre 0 e 1 (diferente de uma agenda de sombreamento manual do EnergyPlus, onde apenas valores fixos podem ser atribuídos para o sombreamento da edificação).

3.6. Configuração da persiana interna manual

A respeito do Caso 4 descrito na Tabela 1, que apresenta o modelo com proteção solar utilizando persianas internas manuais, sua agenda de funcionamento ocorre do início do mês de novembro até o final do mês de abril (meses com temperaturas mais elevadas na Zona Bioclimática 2), permanecendo desligada no restante dos meses do ano.

3.7. Dimensionamento dos dispositivos de proteção solar fixos – *Brise Soleil*

Inicialmente, foi definido na Carta Solar para latitude 30° 51' 04" os meses do ano e as horas do dia com eficiência total do protetor solar. Nesse momento entraram questões de projeto onde foram considerados o tipo de clima local (os horários de maior intensidade solar e temperatura para cada orientação) a atividade do ambiente e o propósito de otimização que se quer chegar.

O tempo estimado de sombreamento da orientação norte funcionou das 10:00h as 14:00h de 23 de outubro a 21 de fevereiro. Nesta orientação o dispositivo de proteção, placa horizontal, contempla as aberturas dos dormitórios e sala de estar. Os *brises* ficaram com 1,5m de largura para todas as aberturas e 4,96m de comprimento para os dormitórios.

A análise da eficiência dos *brises* foi realizada no software *SUN TOOL* da empresa Autodesk. De acordo com o software, observou-se que a eficiência máxima do *brise* se deu entre o período de maior altura solar, no solstício de verão às 12 horas, e o de menor altura, até as 16 horas do dia 21 de fevereiro, conforme estipulado no cálculo de sombreamento.

3.8. Simulação Termoenergética

Cada ambiente da residência foi tratado como uma Zona Térmica. Foram avaliados apenas os ambientes de permanência prolongada da residência, de acordo com os dados da Tabela 5. Neste caso, os ambientes analisados foram os dois dormitórios, sala de estar conjugada com cozinha e com o mezanino. A proposta de utilizar o RTQ-R como parâmetro para configuração das simulações reside no fato de considerarmos a edificação em operação, ou seja, ocupada. Nesse sentido foram utilizados os padrões de uso e ocupação preconizados no RTQ-R descritos na Tabela 5.

3.9. Análise de conforto térmico

O método utilizado para a avaliação do conforto térmico do ambiente foi o modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 de 2010. Para a realização da análise, primeiramente, foram coletados, a partir das simulações, os dados de saída de temperatura operativa interna. Estes foram inseridos no software Microsoft Excel® e, com os dados de temperatura externa presentes no arquivo climático, foi feita uma média horária mensal. Com a média mensal da temperatura do ar externo ao ambiente, foi possível calcular a temperatura operativa de conforto para cada mês.

Após todos os meses terem sua temperatura operativa de conforto calculada, os limites de conforto para 80% de aceitabilidade foram aplicados, e com isso obteve-se as horas de conforto térmico, horas de desconforto por frio e por calor durante as 8760 horas do ano em que a edificação está ocupada. Para o desconforto por calor foi considerado os valores acima do limite de aceitabilidade e o desconforto por frio abaixo do limite. Essa metodologia foi aplicada para os cinco casos, descritos anteriormente. Foram obtidas assim as horas de conforto térmico do ambiente com cada estratégia, conseqüentemente, como também a estratégia mais adequada para o ambiente em termos de conforto térmico segundo o modelo adaptativo.

O Modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2013) é válido somente para ambientes climatizados naturalmente. Esse modelo relaciona as temperaturas internas e externas do ambiente. Através da temperatura externa o modelo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 1:

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 \text{ text}$$

Equação 1

Onde:

Toc é a temperatura operativa de conforto [C°];
Text é a temperatura média mensal externa [C°].

Uma oscilação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C estabelece uma aceitabilidade de 90%, e entre +3,5°C e -3,2°C uma aceitabilidade de 80% (ASHRAE 55, 2013), sendo que a temperatura operativa interna pode ser calculada com base na realização de simulações termodinâmicas.

4. RESULTADOS

Para análise dos resultados, foram simulados os cinco casos propostos. “São eles, com persianas internas (Caso 01) e persianas externas (Caso 02), ambos automatizados pelo EMS do Energy Plus; com *brises* horizontais fixos (Caso 03); dispositivo convencional de sombreamento de persiana interna (Caso 04) e, por fim, sem dispositivo de sombreamento (Caso 05).

A análise foi realizada com a comparação entre os cinco modelos, verificando o conforto térmico da edificação representado neste trabalho graficamente pelo dormitório. Esta zona foi escolhida pois apresentou os maiores percentuais de conforto quando comparada as demais zonas da edificação.

4.1. Resultados Gerais

Conforme o gráfico apresentado na Figura 3, observa-se que o comportamento do dormitório da residência unifamiliar com elevado isolamento térmico, considerando todas as horas do ano, apresentou uma variação nos percentuais de conforto em todos os casos para Zona Bioclimática 2. O caso com persianas externas automatizadas (EMS) apresentou 88,73% de conforto, seguido pelas persianas internas automatizadas (EMS) 87,24%, *brise* fixo 87,02%, persiana interna convencional 85,68% e sem dispositivo de sombreamento 80,14%.

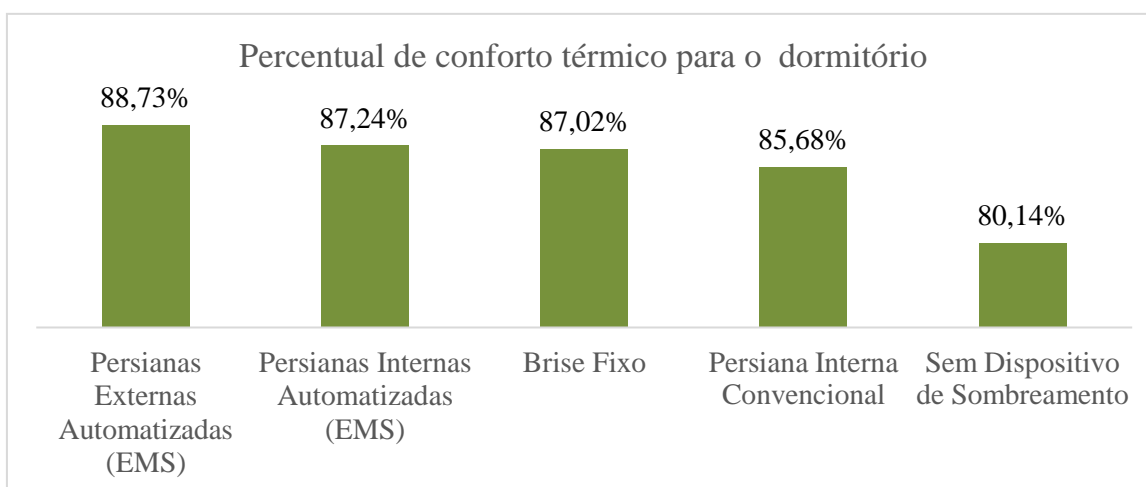


Figura 3 - Análise do percentual de conforto para os casos estudados (Autores).

4.2. Análise dos resultados sobre o EMS

Analisando as configurações de proteção solar automatizada com o EMS, é possível perceber que os dois modelos com EMS na persiana (interna e externa) foram os que apresentaram os melhores resultados entre os casos propostos considerando a Zona Bioclimática 2. A diferença entre o modelo que utilizou EMS externo nos fechamentos (melhor percentual de conforto térmico) com o modelo sem nenhum dispositivo de sombreamento (pior percentual de conforto térmico) foi de 8,59%.

4.3 Resultados do comportamento da temperatura interna (temperatura operativa)

Com relação aos resultados de temperatura operativa para semana típica de verão (Figura 4), em todos os casos apresentou um comportamento semelhante para todos os dias da semana típica de verão. Além disso, as temperaturas encontradas se dispuseram durante toda semana típica dentro da faixa de conforto (entre $T_n + 3,5$ e $T_n - 3,2$).

Outra característica sobre o comportamento da edificação para a semana de verão com os dispositivos de sombreamento é que a temperatura operativa se manteve na maior parte dos dias próxima da temperatura neutra, exceto nos dias em que a temperatura externa apresentou grandes oscilações, variando entre os limites superior ($T_n + 3,5$) e inferior ($T_n - 3,2$).

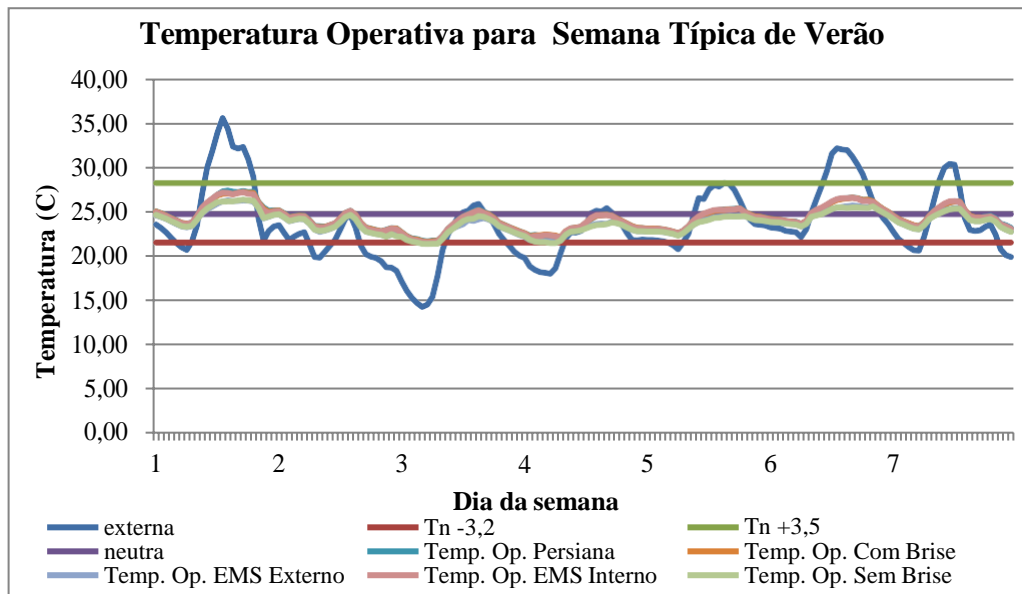


Figura 4 – Análise da temperatura operativa para semana típica de verão (Autores).

O comportamento da temperatura operativa para a semana típica de inverno está muito próximo ao limite inferior ($T_n - 3,2$). De acordo com a variação da temperatura externa, alguns casos saíram levemente da faixa de conforto, no início e nos últimos dois dias da semana. Comparando as semanas típicas, podemos perceber que o comportamento da casa utilizando os dispositivos de sombreamento testados, tanto para verão quanto para inverno, através da temperatura operativa se manteve predominantemente dentro da faixa de conforto, oscilando apenas em situações onde a temperatura externa apresenta valores muito altos (verão) ou baixos (inverno).

Analisando apenas o melhor percentual de conforto térmico estudado (persianas externas automatizadas) para a semana típica de verão, podemos perceber que a temperatura operativa se manteve muito próxima à neutra, oscilando em alguns casos e se aproximando do limite inferior ($T_n - 3,2$) no período intermediário da semana. O pior caso (sem dispositivo de sombreamento) para semana típica de verão apresentou uma curva semelhante à do melhor caso, embora os valores tenham se distanciado da temperatura neutra e se aproximado dos limites inferior e superior ao longo da semana.

Considerando a semana típica de inverno, observa-se que o comportamento das persianas externa e interna automatizadas (EMS) são os únicos que se distanciam do limite inferior ($T_n - 3,2$) e se aproximam da temperatura neutra em alguns dias da semana, correspondendo à expectativa do comportamento dos casos com melhor percentual de conforto térmico. Já o caso sem nenhum dispositivo de sombreamento, durante toda semana típica de inverno manteve suas temperaturas muito próximas ao limite inferior, saindo da zona de conforto na segunda metade da semana típica.

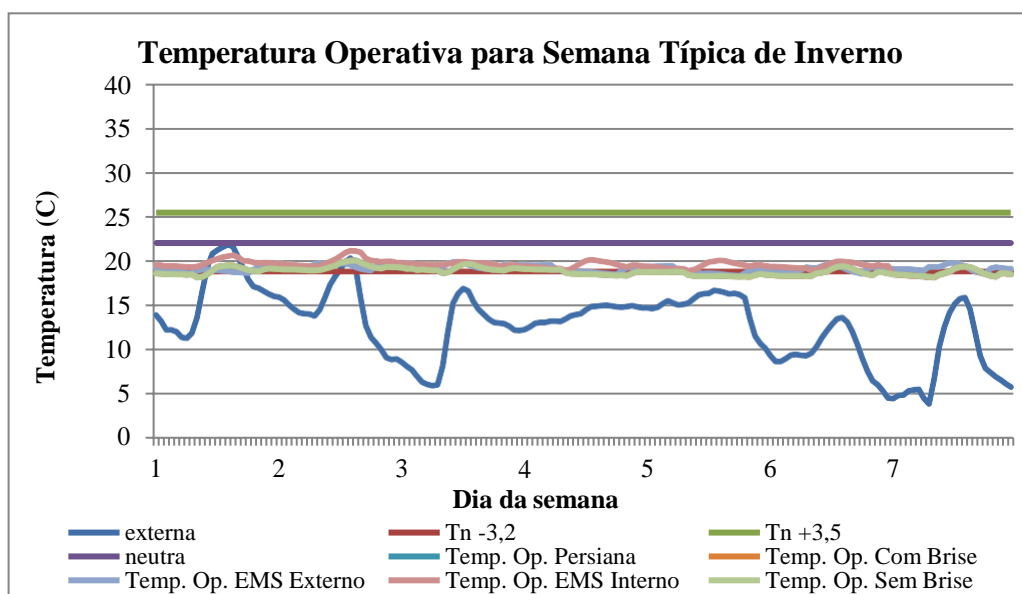


Figura 5 – Análise da temperatura operativa para semana típica de inverno (Autores).

Traçando um comparativo entre o comportamento das Figuras 4 e 5, para semana de verão a temperatura operativa apresentou resultados muito próximos à temperatura neutra, enquanto na semana de inverno os valores se mantiveram muito próximos ao limite inferior ($T_n - 3,2$), o que indica o um desempenho um melhor dos dispositivos de sombreamento testados no período do verão.

4.4 Resultados para os fluxos térmicos de calor

As Figuras 6 e 7 apresentam o fluxo térmico para o dia mais rigoroso da semana mais quente de verão na Zona Bioclimática 2.

O fluxo térmico para o caso com persianas externas automatizadas (EMS) apresentou um ganho de calor menor pelas esquadrias quando comparado ao modelo sem nenhum dispositivo de sombreamento no período das 10 às 17hrs. Embora a perda de calor por condução nas superfícies opacas tenha sido maior no mesmo período para o caso sem dispositivos de sombreamento, o ganho de calor por esquadrias por condução e transmissão neste mesmo caso, fez com que o desempenho da proteção solar obtida com as persianas automatizadas pelo sistema EMS fosse melhor ao longo do dia.

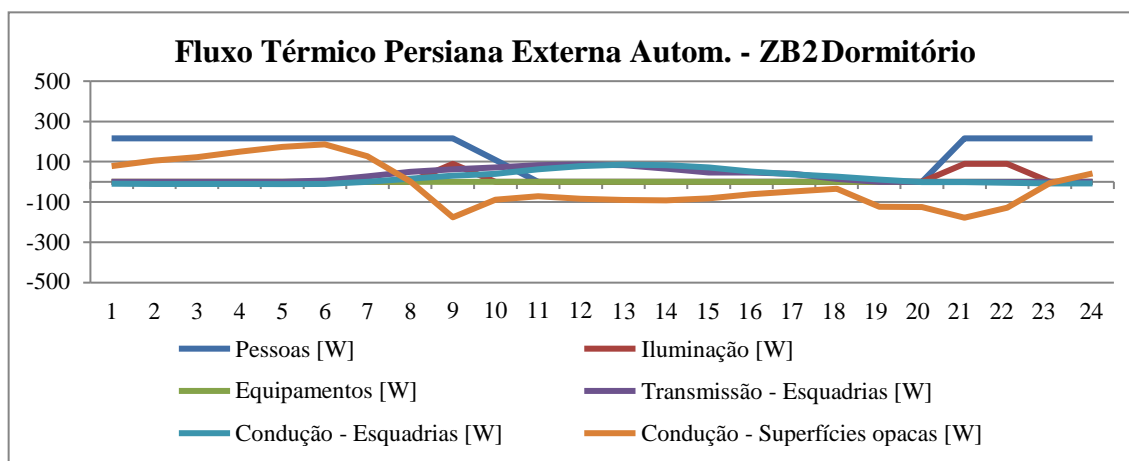


Figura 6 – Fluxos térmicos para o EMS externo (Autores).

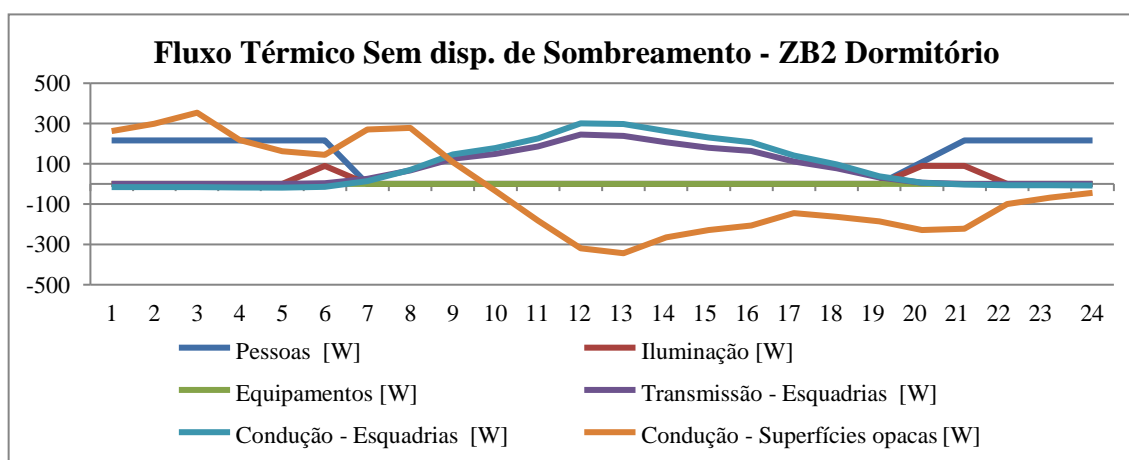


Figura 7 – Fluxos térmicos sem dispositivo de sombreamento (Autores).

5. CONCLUSÕES

Considerando os cinco casos propostos e seus respectivos resultados, simulados para a Zona Bioclimática 2, observou-se que o melhor resultado de conforto térmico através do sombreamento foi utilizando o recurso de automatização através do Energy Management System (EMS), com persianas externas à esquadria. Os resultados ficaram próximos quando as persianas automatizadas foram posicionadas internamente. Entre ambas, a situação com as persianas externas automatizadas apresentou maior índice de conforto. O caso com pior resultado entre todos os modelos foi sem nenhum dispositivo de sombreamento. Os percentuais de conforto térmico encontrados nos dois modelos com persianas automatizadas com o sistema EMS (externa e interna) não apresentaram diferenças sobre o

modelo com *brises* fixos, o que aponta para fato de que um bom dimensionamento dos *brises* pode resultar em um dispositivo de sombreamento que apresente resultados próximos aos dispositivos automatizados (melhores casos no contexto deste trabalho). Quanto aos modelos com persiana manual e sem dispositivos de sombreamento (menores percentuais de conforto entre os casos analisados), podemos observar que a falta de um dispositivo planejado para o sombreamento pode impactar em mais do que 8% do percentual de conforto total em um edifício muito isolado, como é o caso da *Passive House* utilizada. Sobre a aplicabilidade da automatização com o EMS, este trabalho demonstrou que nem sempre uma diferença para o percentual de conforto térmico da edificação é obtida utilizando um recurso automatizado para o sombreamento. Um estudo comparativo levando em consideração características como as que foram aqui discutidas, precisa ser realizado para avaliar se a utilização de automização para o sombreamento é a melhor estratégia a ser adotada, utilizando como parâmetros diferentes dispositivos para proteção solar e a(s) Zona(s) Bioclimática(s) de interesse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFLOR, C.T.M. **Otimização evolucionária e topologia em problemas governados pela equação de poisson empregando o método dos elementos de contorno**. Tese (Doutorado Em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 138p., 2007.

ABNT NBR 15575-5 - **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balanco Energético Nacional (BEN) 2016**. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: maio de 2017.

DALBEM, R., KNOP, S., CUNHA, E. G., OLIVEIRA, R., RODRIGUES, M. F., ROMEU, V. **Verification of the Passive House Concept to the South of Brazil Climate**. Journal of Civil Engineering and Architecture (Print), v. 10, p. 937-945, 2016.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, p. 244, 1972.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied, 1998.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., & PEREIRA, F. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 ed. Brasília: Eletrobrás. 2004

SIGNOR, R. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas Par Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

U.S Department of Energy, **Application Guide for EMS**, EnergyPlus Documentation, 2016.

OLGYAY V., OLGAYAY A. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New and expanded edition, 1963.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 1988.

VEGA, N., CUNHA, E. G. Da, SILVA, A. C. B. da. **Viabilidade do uso de protetores solar na fachada oeste do hotel Jacques George Tower em Pelotas, RS**. Encontro nacional do ambiente construído, XIII, Canela, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. the American National Standards Institute, dezembro, 2013.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Co. Ext., p. 146, 2010.