



## **ANÁLISE TERMO-ENERGÉTICA DE PRÉDIO INSTITUCIONAL EM PELOTAS, RS: SIMULAÇÃO DE VARIAÇÕES NO FECHAMENTO TRANSPARENTE**

**César Rodeghiero Rosa (1); Eduardo G. da Cunha (2); Eduardo M. Riemke (3); Gabriel G. Silva (4); Liader S. Oliveira (5); José Otávio Badia (6); Juçara Silva (7)**

(1) PROGRAU – FAUrb - UFPel – RS; e-mail: cesar.rodeghiero@hotmail.com;

(2) Prof. Dr. Arquiteto e Urbanista; Departamento de Tecnologia da Construção – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFPel – RS; e-mail: egcunha@terra.com.br;

(3) PROGRAU – FAUrb - UFPel – RS; e-mail: dudariemke@gmail.com;

(4) PROGRAU – FAUrb - UFPel – RS; e-mail: gabriel\_gadret@yahoo.com.br;

(5) Eng. Eletricista - Departamento de Tecnologia da Construção - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFPel - RS; e-mail: liader@ufpel.edu.br;

(6) PROGRAU – FAUrb - UFPel – RS; e-mail: badiajo@hotmail.com;

(7) PROGRAU – FAUrb - UFPel – RS; e-mail: arq.jussara@gmail.com.

### **RESUMO**

O presente trabalho consiste na avaliação da influência dos fechamentos transparentes no desempenho termo-energético de um prédio a ser construído no terreno da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Pelotas. Foram realizados estudos alterando o tamanho das aberturas: considerando-se aberturas pequenas (12,5% da área do piso), médias (20% da área do piso) e grandes (45% da área do piso), associadas à utilização dos protetores solares: brises, venezianas, cortinas e sem proteção, como também variações no tipo de vidro utilizado: comum, absorvente e reflexivo. Os 37 modelos resultantes, bem como o caso base representando o projeto original, foram modelados em ambiente computacional através do *software* Design Builder (versão 2.3.5.036), e simulados em um período de um ano, fornecendo os dados para avaliação do desempenho da edificação. A configuração com o menor percentual de aberturas (12,5%) aliada ao uso de venezianas e vidros absorventes obteve o melhor desempenho no consumo energético (14.261,72 kWh); em relação ao conforto térmico, as configurações com menor percentual de abertura também obtiveram os maiores percentuais de horas de conforto, indicando serem estas as soluções adequadas a esta edificação.

Palavras-chave: fechamentos transparentes, simulação computacional, desempenho termo-energético.

### **ABSTRACT**

The present study consists in an evaluation of the influence of the transparent closure in the thermal-energy performance of a building which will be built on the terrain of the Faculty of Architecture and Urbanism of Pelotas. The analysis has been done changing the size of openings: considering small openings (12.5% of the floor area), medium (20% of the floor area) and large (45% of the floor area) associated with the use of solar shading: brise-soleil, venetian blinds, curtains and without solar shading, as well as variations in the type of glass: transparent, absorbing and reflective. The 37 resulting models, as well as the base case representing the original design were modeled in the software Design Builder (version 2.3.5.036) and simulated for one year period, providing data to evaluate the performance of the building. The configuration with the lowest percentage of openings (12.5%) combined with the use of venetian blinds and absorbing glass had the best performance in energy consumption (14.261,72 kWh); in relation to thermal comfort, the configuration with the lowest percentage of openings also had the highest percentage of hours of comfort, indicating that these are the appropriate solutions to this building.

Keywords: transparent closure, computational simulation, thermal-energy performance.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do racionamento energético nacional ocorrido em 2001, ganhou força as discussões sobre as políticas energéticas nacionais. A ausência de planejamento e de investimentos do governo no setor, além da falta de esclarecimento da maioria da população, agravaram e expuseram a fragilidade do setor, alarmando para a necessidade de investimentos e de medidas de racionalização do consumo de energia. Desde o fato, o governo passou a direcionar ações para reverter este quadro através do fortalecimento do PROCEL (programa de combate ao desperdício de energia elétrica) e do PBE - programa brasileiro de etiquetagem. O PBE, programa de eficiência energética, coordenado pelo Inmetro, surgiu inicialmente para a etiquetagem de eletrodomésticos, mas, amparado pela ciência de que as edificações consomem quase metade da energia produzida no país, passou, entre 2009 e 2010, a englobar também o setor da construção civil.

O caminho brasileiro no sentido do desempenho térmico das edificações se consolidou com a publicação da NBR 15220, de 2005, e da NBR 15575, de 2008. Posteriormente, o surgimento do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética dos Edifícios: o RTQ-C (para edifícios comerciais, públicos e de serviços, de 2009), e o RTQ-R (para edifícios residenciais, de 2010) colocou o país no caminho de edificações mais eficientes. O regulamento RTQ-C visa classificar o nível de eficiência energética das edificações quanto à envoltória, à iluminação e ao condicionamento de ar, tendo como resultado uma etiqueta graduada de A, para o mais eficiente, à E, para o menos eficiente. Utiliza-se, para isto, de duas formas de cálculo: o método prescritivo, partindo de uma equação fornecida pelo regulamento; e o método de simulação computacional, feito a partir de *softwares* específicos, onde o consumo do edifício real é comparado com o consumo de 4 modelos de referência, representando os níveis de eficiência energética A, B, C e D.

Os *softwares* de simulação termo-energética das edificações são excelentes ferramentas de auxílio a decisões projetuais, permitindo ao projetista uma escolha mais precisa quanto à tipologia a ser escolhida, bem como às características dos fechamentos. Se por um lado estes têm se mostrado cada vez mais precisos e abrangentes nas simulações, em contrapartida, vêm exigindo um conhecimento cada vez maior dos usuários para a obtenção de bons resultados. Por sua versatilidade e precisão nos resultados, esses *softwares* vêm se consolidando como o principal aliado dos profissionais na busca pela eficiência energética das edificações.

Dentre os elementos englobados pela envoltória, os fechamentos transparentes são a principal fonte de trocas de calor entre o edifício e o exterior (LAMBERTS, 2004). É através deles que o calor proveniente da radiação solar pode esquentar uma edificação no período frio, ou que se pode fazer o aproveitamento da luz natural para reduzir os gastos com iluminação artificial. Por outro lado, se não forem bem projetados, é através deles que o calor do verão pode exigir gastos excessivos com o condicionamento de ar, que a luz do sol pode ofuscar superfícies de trabalho, ou mesmo que o calor produzido dentro da edificação no inverno se dissipe para o exterior. Desta forma, são elementos que exigem atenção especial na etapa de projeto, quando serão definidos a forma, a localização e a orientação das aberturas, bem como as formas de proteção a serem empregadas, como brises, cortinas e venezianas.

Com a necessidade da Faculdade de Arquitetura de Pelotas de ampliar suas instalações, e devido ao fato de o projeto de expansão ainda estar sendo elaborado, estudos que visem tornar a nova edificação mais eficiente, sugerindo alterações ou adequações ao mesmo visando a economia energética podem ser feitos, podendo, caso as soluções sejam adotadas, servir como referência aos futuros profissionais que estudam no local. Considerando essas informações, o presente artigo apresenta estudos realizados nos fechamentos transparentes de um edifício anexo à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. A cidade está localizada no sul do Rio Grande do Sul, na Zona Bioclimática 2, na latitude 31° 46' 19" S e longitude 52° 20' 33" W. Para realização deste trabalho, definiu-se um caso-base e 36 hipóteses de alterações e, com base em simulações computacionais, verificou-se o nível de conforto térmico e o consumo energético a cada variação no tamanho, na proteção solar e no tipo de vidro empregado.

## 2. OBJETIVO

Com base em simulações computacionais utilizando o *software Design Builder*, versão 2.3.5.036 (DESIGN BUILDER, 2010), o objetivo do trabalho é verificar a influência dos fechamentos transparentes no nível de conforto térmico e no nível de eficiência energética da edificação em estudo.

## 3. MÉTODO

Na primeira etapa, realizou-se a modelagem da edificação com base no *software Design Builder*. A edificação irá compor o complexo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPEL, sendo composta por

três pavimentos que distribuem salas de aula, laboratórios e estúdio através da circulação central, onde localizam-se as escadas, os corredores e os banheiros.

Após a modelagem, de acordo com o projeto fornecido pela UFPEL, foram estabelecidas as configurações do modelo para a simulação do caso base. O passo seguinte foi propor algumas alterações nos planos transparentes, tanto nas dimensões (proporções de vãos em relação à área de piso), quanto nas opções de proteção solar interna e externa. Todos os casos foram simulados para obtenção dos resultados no *Design Builder*. Os dados foram avaliados e descritos na análise dos resultados e considerações finais do trabalho.

### 3.1. Caracterização do edifício

A edificação é composta por três pavimentos, conforme Figuras 1, 2 e 3, com paredes externas executadas com tijolos cerâmicos de 8 furos com 25 cm de espessura final e rebocadas em ambos os lados (Transmitância Térmica =  $1,60 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , Capacidade Térmica - CT =  $232 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$  e Atraso térmico = 5,9 h). As paredes internas foram executadas em tijolo maciço, rebocadas também em ambos os lados.

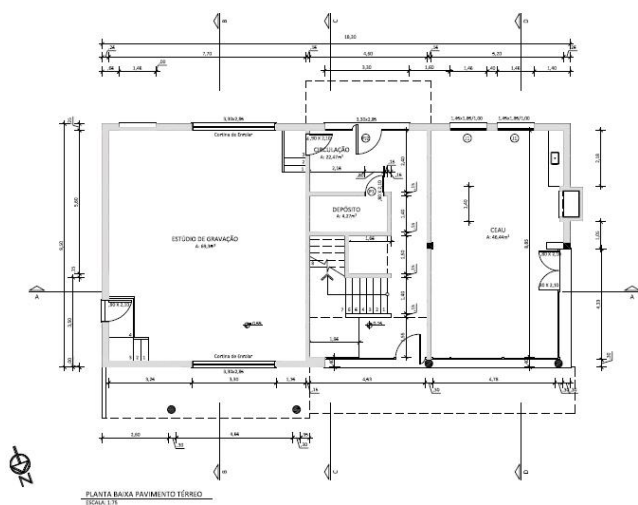


Figura 1 – Planta Baixa do Pavimento Térreo.

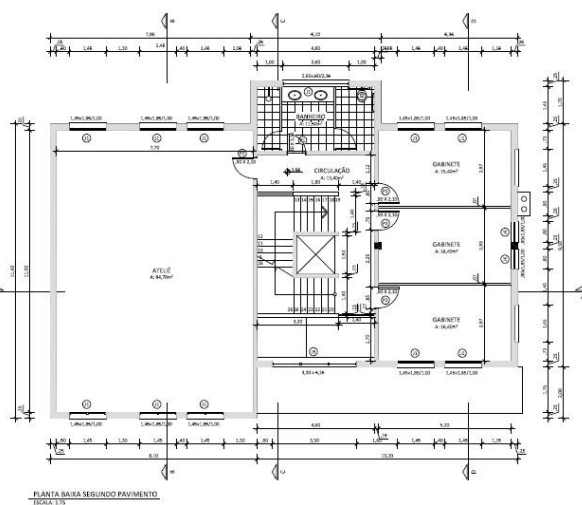


Figura 2 – Planta Baixa do Segundo Pavimento.

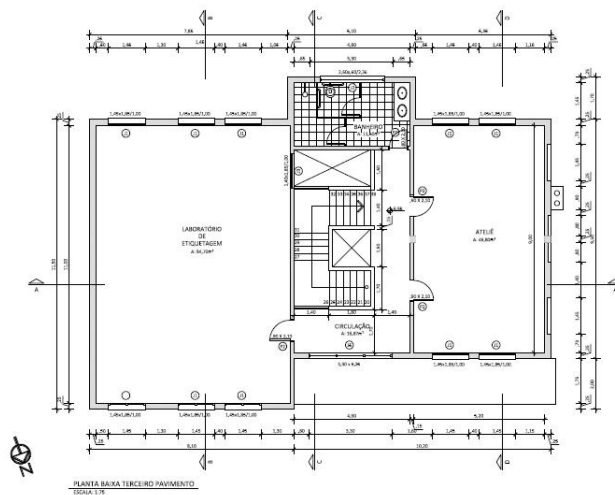


Figura 3 – Planta Baixa do Terceiro Pavimento

A cobertura do prédio é prevista no projeto utilizando telhas de fibrocimento com 6 mm de espessura, sobre laje de concreto de 10 cm de espessura. A camada de ar média foi calculada em 20 cm. (Transmitância térmica =  $4,35 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , Capacidade Térmica - CT =  $369,57 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$  e Atraso térmico = 3,6 h)

As aberturas são de alumínio, no padrão Maxim-ar, com vidro transparente liso de 3 mm. O piso é cerâmico com 1 cm de espessura, assentados em argamassa de 2,5 cm sobre laje de 15 cm de espessura. No pavimento térreo, o piso é cerâmico com 1 cm de espessura, assentados em argamassa de 2,5 cm sobre radier

de 10 cm e base de solo de 47,50 cm no pavimento térreo. A Tabela 1 demonstra os dados que foram utilizados para os cálculos do caso base.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos materiais utilizados

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00
Fibrocimento	1900	0,95	0,84

A ocupação do prédio ocorrerá de segunda-feira à sexta-feira, em dois turnos de trabalho, compreendidos das 8:00 às 12:00 e das 14:00 às 18:00. Nesses turnos foi considerado um período de intervalo entre 12:00 e 14:00 com ocupação parcial de 10%. O restante do período foi considerado 100% de ocupação. No período de férias (janeiro, fevereiro e julho) também foi considerado apenas 10% de ocupação.

### 3.1.1 Configuração do Caso-Base

Foram utilizadas as seguintes configurações no *Caso-Base*:

#### A. Atividade:

Ocupação: 0,2 pessoas/m<sup>2</sup> (conforme NBR 9077 – população: educacional)  
 Metabolismo: 108 W/pessoa - Trabalho Leve Escritório  
 Temperatura - *Setpoint* Aquecimento: - 22°C (NBR 16401, 2008)  
 Temperatura - *Setpoint* Refrigeração: + 26°C (NBR 16401, 2008)  
 Ventilação natural: no bloco central (Circulações e banheiros).  
 Condicionamento artificial: no restante do edifício.  
 Iluminação: 500 Lux para escritórios e 150 Lux para circulações (NBR 5413, 1992).

#### B. Envoltória:

Parede externa: Reboco externo (0,025m) + Tijolo 0,112m + Câmara de ar 0,03m + Tijolo 0,112m + Reboco externo (0,025m).  
 Piso: Cerâmico (0,010m) + Argamassa de reboco (0,100) + Laje de concreto (0,10m) + Argamassa de reboco (0,010m).  
 Cobertura: Telha de fibrocimento (0,006m) + Câmara de ar c/ alta emissividade (0,20m) + Laje de concreto (0,15m) + Reboco externo (0,015).  
 Piso Térreo: Piso Cerâmico (0,010m) + Argamassa de reboco (0,025) + Radier de concreto (0,10m) + Solo (0,457m).  
 Percentual de Abertura: 26% da área total de piso.

#### C. Iluminação:

Foi considerada uma carga de 11W/m<sup>2</sup>. Na aba *Lighting* do programa *Design Builder*, o controle de iluminação foi ligado (linear). O controle acionado significa que foi considerada a iluminação natural no estudo. A iluminação é ligada quando a iluminância dos ambientes internos é menor que o especificado (500 lux escritório - 150 lux circulação).

#### D. Condicionamento Artificial:

Split Reverso COP<sup>1</sup>: 3,21 W/W (sistema de ar condicionado com nível de eficiência energética “A” pelo PBE/INMETRO).

#### E. Equipamentos:

Foi considerada uma densidade de carga interna (DCI) de 6 W/m<sup>2</sup> para escritórios.

<sup>1</sup> O COP mede a eficiência do sistema de condicionamento de ar e, segundo a ASHRAE, pode ser definido como a razão entre o calor removido ou fornecido a um ambiente e a energia consumida para um sistema completo de refrigeração ou aquecimento.

### 3.1.2 Simulação do caso-base

O arquivo climático de Santa Maria foi escolhido para basear este estudo, visto que a cidade de Pelotas pertence à mesma zona bioclimática do município de Santa Maria/RS (ZB2). Os dados foram coletados conforme NBR 15220 (2005).

Outro documento utilizado foi a norma Standard 55, ASHRAE (2010). Com ela foram estabelecidos os parâmetros de conforto térmico para a análise dos ambientes não condicionados. Para a determinação da temperatura operativa, usou-se a Equação 1:

$$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$T_o$ : temperatura operativa horária (°C);

$T_a$ : temperatura do ar no ambiente (°C);

$T_r$ : temperatura radiante média (°C);

A: constante que varia com a velocidade do ar no ambiente (na ausência de dados de velocidade do ar, deve ser considerado o coeficiente de 0,5 na equação).

A faixa de conforto térmico utiliza a Equação 2:

$$t_{oc} = 18,9 + 0,255 t_{ext} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$t_{oc}$ : temperatura operativa de conforto;

$t_{ext}$ : temperatura externa.

Analisando os resultados, e para agrupar 90% de aceitabilidade da população usuária do local utiliza-se uma margem de 2,5°C, ou seja,  $t_{oc} + 2,5^\circ\text{C}$  ou  $t_{oc} - 2,2^\circ\text{C}$ . Estes parâmetros geraram um relatório diário das variações de conforto térmico, demonstrando tanto os percentuais de frio e calor, como os momentos de conforto térmico.

### 3.1.3 Alterações no plano transparente

A partir deste caso base, foram feitas alterações no tamanho das aberturas no programa Design Builder, variando em pequenas (12,5% da área do piso), médias (20% da área do piso) e grandes (45% da área do piso), com base na classificação do tamanho das aberturas da NBR 15220, conforme ilustrado na Figura 4. Foram feitas configurações com diferentes tipos de dispositivos de proteção solar (sem proteção, cortinas, venezianas e brises). As configurações sem proteção não possuem qualquer dispositivo de proteção instalado. As cortinas são metálicas, possuem ajuste de inclinação e estão localizadas internamente às aberturas. As venezianas são metálicas com lâminas inclinadas em 45° e localizadas externamente às janelas. As cortinas e venezianas foram configuradas para serem ativadas sempre que a radiação solar incidente fosse superior a 45 W/m². Os brises serão detalhados no item 3.1.3.1. Também foram feitas alterações com diferentes tipos de vidro de espessura de 3 mm (comum – liso e transparente, absorvente e reflexivo). O fator solar do vidro comum utilizado foi 0,87; já para o vidro absorvente foi de 0,60 e para o vidro reflexivo foi de 0,20.

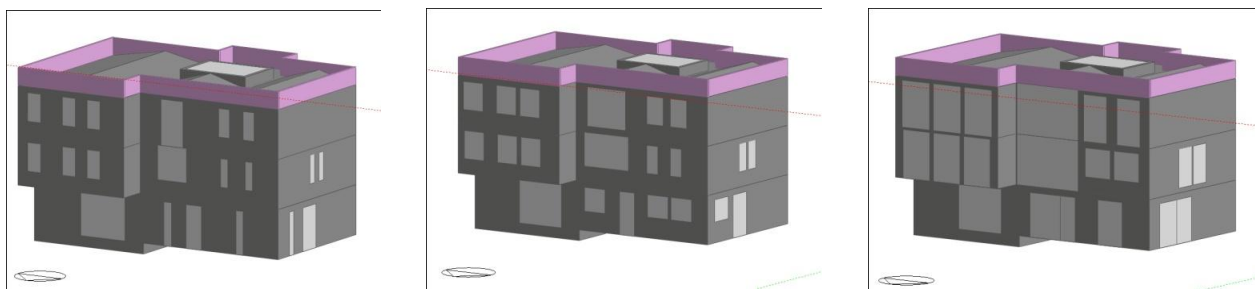


Figura 4 – Configurações de tamanho de aberturas: 12,5%, 20% e 45% da área de piso.

No total, foram testadas 37 configurações, conforme Tabela 2:

Tabela 2 – Configurações de simulação

Configuração (Percentual de aberturas, Proteção solar, tipo de vidro de 3 mm)	PAF Norte	PAF Sul	PAF Leste	PAF Oeste
26% (caso-base), sem proteção, comum	38%	23%	0%	12%
12,5%, sem proteção, comum	16%	14%	0%	4%
12,5%, sem proteção, absorvente	16%	14%	0%	4%
12,5%, sem proteção, reflexivo	16%	14%	0%	4%
12,5%, cortina, comum	16%	14%	0%	4%
12,5%, cortina, absorvente	16%	14%	0%	4%
12,5%, cortina, reflexivo	16%	14%	0%	4%
12,5%, veneziana, comum	16%	14%	0%	4%
12,5%, veneziana, absorvente	16%	14%	0%	4%
12,5%, veneziana, reflexivo	16%	14%	0%	4%
12,5%, brises, comum	16%	14%	0%	4%
12,5%, brises, absorvente	16%	14%	0%	4%
12,5%, brises, reflexivo	16%	14%	0%	4%
20%, sem proteção, comum	27%	20%	0%	6%
20%, sem proteção, absorvente	27%	20%	0%	6%
20%, sem proteção, reflexivo	27%	20%	0%	6%
20%, cortina, comum	27%	20%	0%	6%
20%, cortina, absorvente	27%	20%	0%	6%
20%, cortina, reflexivo	27%	20%	0%	6%
20%, veneziana, comum	27%	20%	0%	6%
20%, veneziana, absorvente	27%	20%	0%	6%
20%, veneziana, reflexivo	27%	20%	0%	6%
20%, brises, comum	27%	20%	0%	6%
20%, brises, absorvente	27%	20%	0%	6%
20%, brises, reflexivo	27%	20%	0%	6%
45%, sem proteção, comum	61%	45%	0%	14%
45%, sem proteção, absorvente	61%	45%	0%	14%
45%, sem proteção, reflexivo	61%	45%	0%	14%
45%, cortina, comum	61%	45%	0%	14%
45%, cortina, absorvente	61%	45%	0%	14%
45%, cortina, reflexivo	61%	45%	0%	14%
45%, veneziana, comum	61%	45%	0%	14%
45%, veneziana, absorvente	61%	45%	0%	14%
45%, veneziana, reflexivo	61%	45%	0%	14%
45%, brises, comum	61%	45%	0%	14%
45%, brises, absorvente	61%	45%	0%	14%
45%, brises, reflexivo	61%	45%	0%	14%

### 3.1.3.1. Projeto do sistema de proteção solar

O projeto dos brises foi aplicado em algumas configurações e considerou a eficiência total no verão – período de 21 de dezembro a 20 de março, para as orientações leste, norte e oeste, levando em conta os condicionantes de latitude e longitude da cidade de Pelotas-RS.

A eficiência total no verão foi verificada na carta solar através do *software SunTool*<sup>2</sup>. Simulando a variação da máscara de sombra neste programa, foi utilizada a associação de brises horizontais e verticais,

<sup>2</sup> Software que permite o cálculo de dispositivos de sombreamento para aberturas através da trajetória solar, criado pela empresa *Square One Research*.

dividindo o vão de cada abertura a fim de obter um conjunto com placas menores, mais eficientes e mais agradáveis esteticamente, conforme Figura 5.

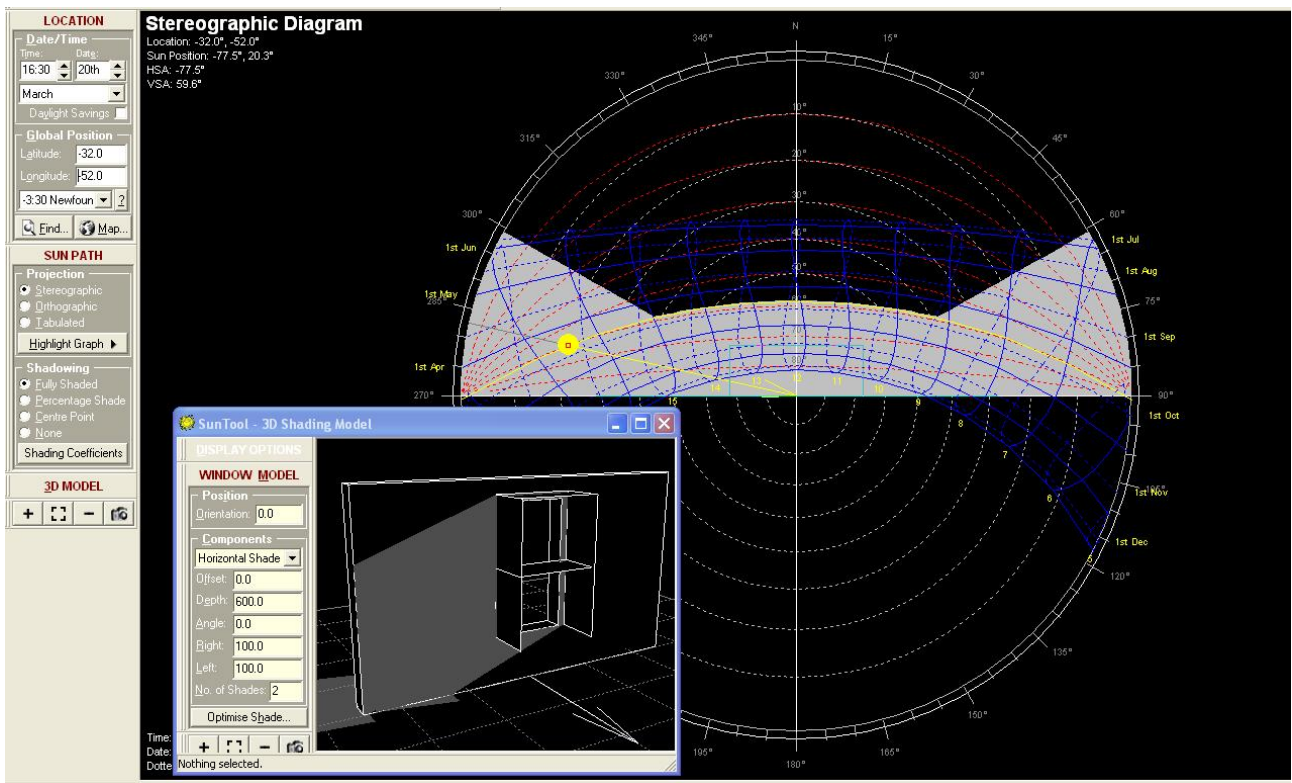


Figura 5 - Tela do programa SunTool, com projeto de brises e máscaras de sombra com eficiência total.

Procurou-se, também, projetar os brises com máscaras de sombra precisas, permitindo a incidência da radiação solar nos ambientes nas demais estações do ano. A eficiência total do sistema de proteção solar adotado levou em conta o sombreamento integral de cada abertura, considerando todo o período da variação horária e da variação da trajetória solar nos meses de verão, de acordo com cada fachada.

A partir dos projetos de brises realizados no programa SunTool, foi iniciada a modelagem destes no programa Design Builder, na aba "Openings Tab". A modelagem foi realizada com as ferramentas Louvres, para brises horizontais e Sidesfins, para brises verticais. O material utilizado para os brises foram lâminas de aço. O resultado da aplicação dos brises pode ser conferido na Figura 6.

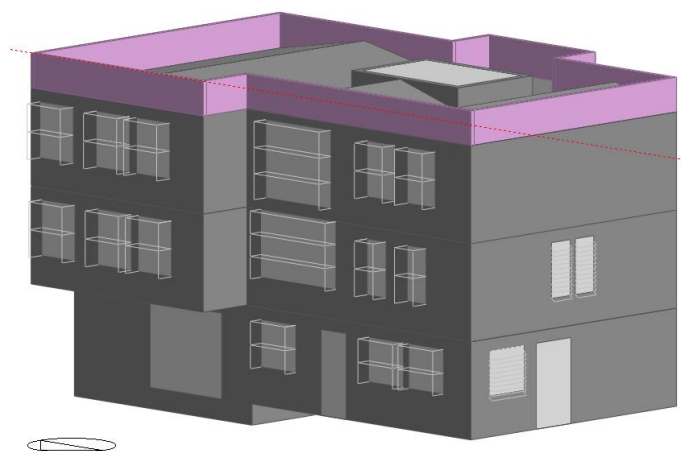


Figura 6 – Modelagem dos brises no programa Design Builder.

### 3.1.5. Análise do conforto térmico do espaço interior

Após a conclusão e configuração dos modelos, foram realizadas simulações considerando o período de um



ano completo, medindo as condições de conforto térmico nos horários de ocupação caracterizados no item 3.1 do presente artigo. Foram extraídos os dados de conforto do programa *Design Builder* e quantificadas as horas de conforto, desconforto por frio e desconforto por calor para cada configuração. A zona de conforto utilizada foi baseada na da Teoria Adaptativa da norma internacional ASHRAE *Standard 55* (2010).

### 3.1.6. Análise da eficiência energética

A eficiência energética foi analisada a partir da extração dos dados simulados com o programa *Design Builder*. Desta forma, foi possível estimar o gasto da edificação em energia elétrica de climatização (aquecimento, resfriamento), iluminação e equipamentos.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

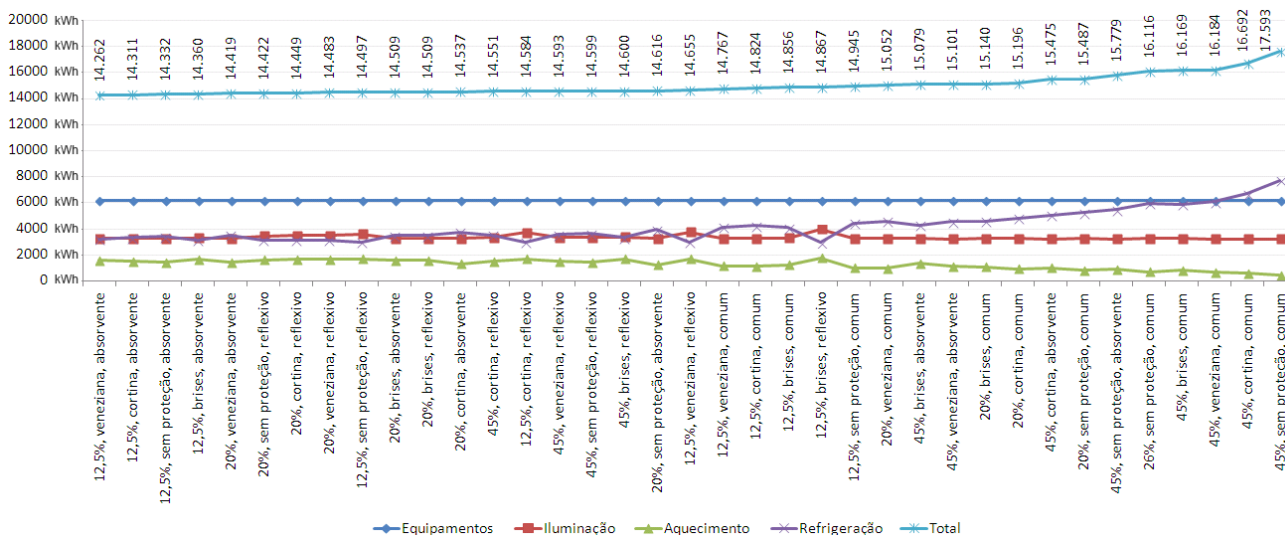


Figura 7: Consumo Energético Anual

Analisando o consumo energético na Figura 7, verificamos que o menor consumo total anual foi de 14.261,72 kWh na solução de aberturas de 12,5% da área de piso, com venezianas e vidro absorvente. A solução com aberturas de 45% da área do piso sem dispositivos de proteção e com vidro comum teve o maior consumo verificado, representando 17.592,67 kWh anuais. Esta diferença significa que o maior consumo total foi 23% superior ao menor consumo encontrado e mostra uma tendência de melhor desempenho energético para as aberturas pequenas.

O gasto com iluminação artificial nas soluções sem dispositivos de proteção e com vidro comum teve variação de 1% conforme o aumento da área das janelas; as soluções de 12,5%, 20% e 45% tiveram um consumo de 3.273,91 kWh, 3.253,26 kWh e 3.239 kWh, respectivamente. Desta forma, a iluminação natural através do aumento da área das janelas teve pouca influência na economia com iluminação artificial. Contudo, a escolha do vidro reflexivo chegou a aumentar cerca de 20% o consumo de energia com iluminação artificial da configuração mais econômica, chegando a 3.980,13 kWh na solução com aberturas de tamanho de 12,5% de área de piso com a utilização de brises.

A representatividade das variáveis de equipamentos, aquecimento e refrigeração também foram avaliadas no consumo total anual. O gasto com aquecimento foi pouco representativo em todas as soluções. O consumo dos equipamentos se manteve constante em todas as configurações em virtude da previsão da densidade de carga interna de 6 W/m<sup>2</sup>. No entanto, o consumo com refrigeração mostrou ser o grande responsável pela variação total do consumo de energia, variando de 2.946,12 kWh a 7.710,63 kWh, sendo 2,6 vezes maior do que a solução com menor gasto de refrigeração.

No caso do conforto térmico representado na Figura 8, as diferentes configurações de aberturas foram responsáveis por uma variação máxima de 9% do total de horas anuais, ou seja, a pior configuração obteve 788 horas de desconforto a mais do que a melhor configuração. Foi verificada uma tendência de melhores percentuais de conforto anuais à medida que foram diminuídos os tamanhos das aberturas. As aberturas de áreas pequenas com dispositivos de proteção sendo cortina e veneziana tiveram o melhor desempenho quando associadas ao tipo de vidro reflexivo. Curiosamente, a solução sem nenhum tipo de proteção apresentou o mesmo percentual de conforto, estando entre as soluções de melhor desempenho. As



aberturas com área de 20% do piso e vidro reflexivo tiveram um desempenho térmico superior ao de algumas aberturas com 12,5% de área de piso. O mesmo ocorreu com as aberturas de 45% do piso e vidro reflexivo, que ultrapassaram o desempenho térmico de algumas soluções de 20% da área de piso.

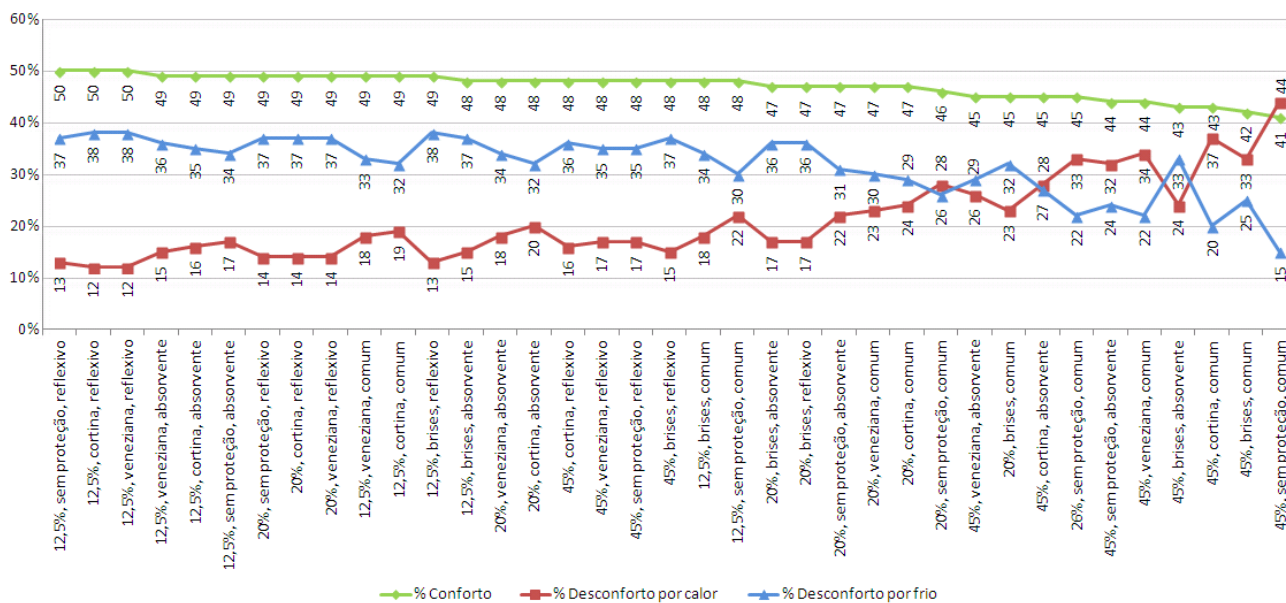


Figura 8 - Percentual de Conforto e Desconforto Térmico Anual

A aplicação de diferentes soluções de dispositivos de proteção associados a diferentes tipos de vidro para um mesmo tamanho de abertura tendeu a ter maior influência no percentual de conforto conforme o aumento da área da abertura: elevou em 2% para o tamanho de 12,5% (48% a 50% de conforto), 4% para o tamanho de 20% (45% a 49% de conforto) e 7% para o tamanho de 45% (41% a 48% de conforto).

Considerando o mesmo tamanho de janela e o mesmo dispositivo de proteção, alterando apenas o tipo de vidro entre absorvente, comum e reflexivo, constatamos que o conforto térmico teve incremento mínimo de 1% para as aberturas de 12,5% de área de piso com brises e incremento máximo de 7% para as aberturas de 45% de área de piso e sem nenhum dispositivo de proteção. Isto evidenciou que a escolha do tipo de vidro tende a ter uma maior influência no caso de aberturas maiores sem dispositivos de proteção.

O desconforto por frio variou de 15% a 38% das horas do ano e foi maior nas aberturas pequenas e com vidro reflexivo. Ainda assim, o gasto de energia com aquecimento foi pouco representativo em todas as configurações. Este fato contribuiu para o melhor desempenho das aberturas menores, que mesmo tendo alto percentual de desconforto por frio tiveram um gasto com aquecimento baixo. Em contrapartida, o desconforto por calor variou de 12% a 44% das horas do ano, tendendo a ser maior nas aberturas grandes, que tiveram o pior desempenho no consumo energético em virtude da alta representatividade da refrigeração no consumo total.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados, foi possível concluir que as diferentes configurações de abertura tiveram um desempenho, tanto no consumo energético quanto no percentual de horas de conforto, que tendeu a ser melhor no caso das aberturas pequenas de 12,5% da área de piso, considerando o estudo de caso. Estudos posteriores poderiam avaliar as melhores soluções de desempenho encontradas quanto aos aspectos de estética, conforto visual do ambiente interior e economia, levando em conta a vida útil dos sistemas de aberturas, a fim de encontrar a melhor solução definitiva para o prédio avaliado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico das edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais até 5 pavimentos - desempenho**. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413, 1992 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401, 2008 – Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 1: Projetos das Instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077, 1993 – Saídas de Emergência em Edifícios**. Rio de Janeiro, 1993.
- ASHRAE STANDARD 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.
- DESIGN BUILDER. **DesignBuilder v. 2.3.5.036**. DesignBuilder Software Ltd., 2010. Disponível em <www.designbuilder.co.uk>, acessado em 24 jan de 2013.
- GOULART, Solange V. G; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta; **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1997.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Eletrobrás, 2012.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais**. Eletrobrás, 2010.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. ANTAC, 2005.
- PROCEL. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Procel Edifica**. ELETROBRÁS, 2003.