

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO DE UM PRÉDIO  
UNIVERSITÁRIO VIA SIMULAÇÃO COM O ENERGYPLUS

por

Rafael Walter Müller

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Janeiro de 2013



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO DE UM PRÉDIO  
UNIVERSITÁRIO VIA SIMULAÇÃO COM O ENERGYPLUS

por

Rafael Walter Müller

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey

Prof. Dr. Flavio T. Van Der Laan

Prof. Dr. Marina Seelig

Porto Alegre, 03 de Janeiro de 2013.

a todas pessoas que me escutaram, passaram conhecimento,  
vivência e carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e avós pelo apoio e carinho incondicional.

Ao Prof. Dr. Paulo Otto Beyer pelo conhecimento passado e paciência no desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Departamento de Engenharia Mecânica, pelo espaço, oportunidades e conhecimentos transferidos.

A todos os colegas e amigos que viveram junto comigo, as felicidades e angústias, dessa graduação em Engenharia Mecânica.

“Nesse mundo, somos julgados pelo que fazemos, e não por quem somos.”  
*Rafael Walter Müller*

WALTER MÜLLER, R. **Estudo da eficiência energética e conforto térmico de um prédio universitário via simulação com o EnergyPlus**. 2012. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **RESUMO**

O presente trabalho visa apresentar as melhores condições para se obter eficiência energética em um prédio universitário (Univates), a ser construído no município de Lajeado, Rio Grande do Sul. O início do trabalho deu-se pela construção do modelo 3D do prédio utilizando o *plug-in* OpenStudio do *software* Google SketchUp. Em seguida, foram realizadas simulações da edificação, auxiliadas pelo programa EnergyPlus e dados climáticos da cidade de Rio Pardo (mais próxima). A partir dos resultados obtidos, foram sugeridas melhorias e alterações no projeto, como o tipo dos materiais de construção, barreiras térmicas, equipamentos eletroeletrônicos, iluminação natural etc, a fim de aperfeiçoar o conforto térmico. As soluções encontradas visaram diminuir ao máximo o uso de ar condicionado.

**PALAVRAS-CHAVE:** eficiência energética, EnergyPlus, conforto térmico.

WALTER MÜLLER, R. **Energetic Efficiency and thermal comfort study of a university building by EnergyPlus simulation**. 2012. 20f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## **ABSTRACT**

This paper aims to present the best conditions to obtain energy efficiency in a university building (Univates), to be built in the city of Lajeado, Rio Grande do Sul. The beginning of the work was due to the construction of the 3D model of the building using the OpenStudio plug-in of Google SketchUp software. Then, simulations were performed of the building, assisted by the software EnergyPlus and climatic data of the city of Rio Pardo (closest). From the results obtained, have been suggested improvements and design changes, such as the type of building materials, thermal barriers, electronic equipment, natural lighting etc, in order to improve thermal comfort. The solutions aimed to maximally reduce the use of air conditioning.

**KEYWORDS:** energy efficiency, EnergyPlus, thermal comfort.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
1.1. Motivação	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	1
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b>	1
3.1. Google SketchUp	1
3.2. OpenStudio	1
3.3. EnergyPlus	2
3.3.1. Equações utilizadas pelo EnergyPlus	2
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	4
4.1. Conforto térmico	4
4.2. Eficiência energética	4
4.3. Teto verde ou <i>ecorooft</i>	4
4.4. Janelas com controle de fluxo de ar	4
4.5. Controle de Potência de Iluminação	5
<b>5. DESCRIÇÃO DO PROJETO BASE</b>	6
5.1. Características da edificação	6
5.2. Janelas	7
5.3. Modelagem da edificação	7
5.3.1. Cargas Internas	7
<b>6. SIMULAÇÃO</b>	8
6.1. Arquivo climático	8
6.2. Horários	8
6.3. Simulação do projeto base	9
6.3.1. Resultados do projeto base	9
6.4. Simulação das modificações sugeridas	10
6.4.1. Telhado	10
6.4.2. Vidros externos	10
6.4.3. Cortina externa ( <i>brises</i> )	10
6.4.4. Iluminação LED	11
6.4.5. Ventilação natural	11
6.4.6. Telhado de vidro	11
<b>7. RESULTADOS</b>	12
<b>8. CONCLUSÕES</b>	14
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	14
<b>ANEXO 1</b> – Planta baixa [Krebes, L, 2012]	16
<b>ANEXO 2</b> – Corte AA [Krebes, L, 2012]	17

<b>ANEXO 3</b> – Corte BB [Krebes, L, 2012] .....	18
<b>ANEXO 4</b> – Corte CC [Krebes, L, 2012] .....	19
<b>ANEXO 5</b> – Corte DD [Krebes, L, 2012] .....	20

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país em constante desenvolvimento, e o processo de urbanização é inegável. Cada vez mais prédios em lugar de casas, mais carros em vez de pedestres. Correto ou não, é de fácil entendimento que a geração de energia elétrica ou de combustíveis em quantidades cada vez maiores se torna necessária para manter este sistema.

Assim, o estudo de energias renováveis, limpas, e de eficiência energética aparece não apenas como uma opção, mas sua utilização e aplicação se fazem fundamentais.

Para isso, a ferramenta de simulação energética torna-se de grande utilidade, pois se estima redução do consumo de energia superior a 50% em edificações ainda não construídas, e de aproximadamente 30% nas já existentes [Eletrobras, 2012].

### 1.1. Motivação

Recentemente discussões sobre a Usina Hidrelétrica de Belo Monte tomaram conta dos meios de comunicação, onde independentemente das informações apresentadas, a principal questão era sobre o impacto ambiental que tal obra causaria para obter-se mais quilowatts de energia gerada.

Essa foi apenas mais uma questão das inúmeras que a situação energética do mundo enfrenta. A população mundial cresce, e com isso a necessidade de alimentação e alojamento para todos, e para sustentação desse meio faz-se necessário uma maior produção de energia (elétrica, térmica, etc.) pelos respectivos países.

Apesar de esta ser uma visão lógica, ela é considerada simplista, pois ao invés de gastar esforços econômicos em ampliação das fontes geradoras de energia elétrica, deveria se investir esforços intelectuais em reduzir as taxas de consumo energético da atualidade.

Assim, entende-se que a metodologia apresentada neste trabalho representa uma forma moderna para utilização eficaz da energia, afetando de forma positiva a qualidade de vida das pessoas.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho se propõe a apresentar sugestões e alterações em um projeto arquitetônico a fim reduzir consideravelmente o consumo energético sem afetar o conforto térmico em quaisquer dos ambientes do prédio em questão.

## 3. DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho fez uso de três diferentes *softwares*, todos disponíveis gratuitamente na internet e citados a seguir.

### 3.1. Google SketchUp

O *software* Google SketchUp é um programa de comunicação 3D para profissionais de Design e Engenharia. Neste trabalho foi utilizado em sua versão 8.0.1436 [Google, 2012].

### 3.2. OpenStudio

O OpenStudio é um *plug-in* desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos para o programa Google SketchUp, que facilita a criação e edição de superfícies e zonas para o EnergyPlus sem deixar o modelo 3D. Este programa também auxilia na visualização de iluminação natural e criação de mapas de iluminação. O trabalho presente utilizou a versão 1.0.9.398 do *plug-in* [DOE, 2012].

### 3.3. EnergyPlus

Também criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o EnergyPlus é um programa completo de simulação energética utilizado por arquitetos, engenheiros e pesquisadores para modelar a utilização de água e energia em edificações. Fazendo-se uso destas simulações, o profissional pode aperfeiçoar questões construtivas para um menor consumo energético e melhor utilização de recursos naturais.

Este programa é capaz de simular aquecimento, refrigeração, iluminação, utilização de água, etc. e foi utilizado em sua versão 7.2.006 neste trabalho [DOE, 2012].

#### 3.3.1. Equações utilizadas pelo EnergyPlus

A simulação realizada pelo EnergyPlus é baseada nos princípios fundamentais do balanço de energia, e utiliza códigos FORTRAN para descrever os modelos a serem calculados. Este método soluciona os problemas diretamente ao invés de introduzir procedimentos de transformada, o que é vantajoso, pois o programa não irá conter parâmetros arbitrados e nenhum processo ficará oculto.

Como todo procedimento de cálculo, é necessário fazer algumas suposições do modelo em questão. O EnergyPlus assume que o ar presente nas zonas é uma mistura homogênea que possui temperatura uniforme em toda a zona. Para as superfícies (paredes, janelas, piso, etc) as suposições ditadas pela ASHRAE são que a temperatura, e irradiações de ondas curtas e longas são uniformes; a radiação nas superfícies é difusa; e a condução é considerada unidimensional [ASHRAE SI, 2009] e [EnergyPlus, 2011].

##### 3.3.1.1. Superfícies opacas

Para o balanço de energia, a transferência de calor em superfícies opacas é formulada usando funções de transferência de condução (FTCs) que descrevem os fluxos condutivos. A equação para o fluxo interno é descrita da seguinte forma:

$$q''_{kt}(t) = -Z_o T_{si} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{st,\theta-j\delta} + Y_o T_{so} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{so,\theta-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ki,\theta-j\delta} \quad (3.1)$$

E para o fluxo externo:

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{st,\theta} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{st,\theta-j\delta} + X_o T_{so,\theta} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{so,\theta-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j q''_{ko,\theta-j\delta} \quad (3.2)$$

Onde,

$X_j$  = FTC externa,  $j = 0, 1, \dots, nz$

$Y_j$  = FTC cruzada,  $j = 0, 1, \dots, nz$

$Z_j$  = FTC interna,  $j = 0, 1, \dots, nz$

$\Phi_j$  = FCT de fluxo,  $j = 1, 2, \dots, nq$

$\theta$  = tempo

$\delta$  = período de tempo

$T_{si}$  = temperatura interior, °C

$T_{so}$  = temperatura exterior, °C

$q''_{ki}$  = fluxo condutivo interno, W/m<sup>2</sup>

$q''_{ko}$  = fluxo condutivo externo, W/m<sup>2</sup>

##### 3.3.1.2. Superfícies translúcidas

A radiação solar é uma variável bastante importante para espaços condicionados, principalmente em áreas com superfícies translúcidas. O EnergyPlus possui um banco de

equações para incidências solares diretas, difusas para diversos tipos de vidros (com ou sem proteção), e diversas localizações, que é apresentado a seguir.

### 3.3.1.2.1. Radiação solar direta

Para radiação solar direta:

$$q_b = AE_{t,b}S_{HGC}(\theta)I_{AC}(\theta, \Omega) \quad (3.3)$$

### 3.3.1.2.2. Radiação solar difusa

Para radiação solar difusa:

$$q_d = A(E_{t,d} + E_{t,r})(S_{HGC})_D I_{ACD} \quad (3.4)$$

E o ganho condutivo:

$$q_c = UA(T_{out} - T_{in}) \quad (3.5)$$

Sendo o calor total recebido pelas janelas, Q:

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad (3.6)$$

onde,

A = area de janela, m<sup>2</sup>

E<sub>t,b</sub>, E<sub>t,d</sub> e E<sub>t,r</sub> = irradiação direta, difusa e refletida pelo solo, respectivamente

S<sub>HGC</sub>(θ) = coeficiente de ganho solar, função do ângulo de incidência θ

(S<sub>HGC</sub>)<sub>D</sub> = coeficiente de ganho solar difuso

T<sub>in</sub> = Temperatura interna, °C

T<sub>out</sub> = Temperatura externa, °C

U = coeficiente global de transferência de calor, W/m<sup>2</sup>K

I<sub>AC</sub>(θ,Ω) = coeficiente de atenuação solar interno

I<sub>ACD</sub> = coeficiente de atenuação solar difuso

### 3.3.1.3. Balanço de energia

O balanço de energia para as superfícies externas fica:

$$q''_{\alpha,sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (3.7)$$

onde,

q''<sub>α,sol</sub> = taxa de radiação solar difusa e direta absorvida, W/m<sup>2</sup>

q''<sub>LWR</sub> = taxa de radiação de ondas longas, W/m<sup>2</sup>

q''<sub>conv</sub> = taxa convectiva na parede, W/m<sup>2</sup>

q''<sub>ko</sub> = taxa condutiva na parede, W/m<sup>2</sup>

E para as superfícies internas:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{sol} + q''_{conv} + q''_{ki} = 0 \quad (3.8)$$

onde,

q''<sub>sol</sub> = taxa de radiação solar transmitida absorvida, W/m<sup>2</sup>

q''<sub>LWX</sub> = taxa radiante de ondas longas entre superfícies, W/m<sup>2</sup>

$q''_{\text{conv}}$  = taxa convectiva na parede, W/m<sup>2</sup>

$q''_{\text{ki}}$  = taxa condutiva através parede, W/m<sup>2</sup>

$q''_{\text{LWS}}$  = taxa de radiação de ondas longas dos equipamentos na zona, W/m<sup>2</sup>

$q''_{\text{SW}}$  = taxa de radiação de ondas curtas das lâmpadas para as superfícies, W/m<sup>2</sup>

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Conforto térmico

Um fator muito importante para o bem-estar e produtividade, conforto térmico é dado como “condição da mente na qual é expressa satisfação com o ambiente térmico” [ASHRAE, 2005]. Num ambiente acadêmico como uma universidade, esta condição se faz necessária para que não haja cansaços e dispersões em demasia, mantendo o foco na atividade principal.

### 4.2. Eficiência energética

Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas que reduza os custos com energia e/ou aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração [Martins, 1999].

Assim, pode-se considerar os meios de energia renováveis como eficientes, visto o fato de que não consomem combustíveis fósseis e/ou geraram resíduos danosos ao ambiente.

De acordo com a Agência Internacional de Energia [IEA, 2012], edifícios, processos industriais e de transporte energeticamente eficientes poderiam reduzir as necessidades energéticas do mundo em 2050 por um terço.

### 4.3. Teto verde ou *ecorooft*

Um conceito já bastante antigo que consiste em acrescentar uma camada de terra e grama sobre o telhado. Utilizado em residências e edifícios também como área de lazer, tendo efeito decorativo e ecológico [Souza, 2010].

As desvantagens de carga adicional, investimento inicial e manutenção são amenizados por inúmeros benefícios. O solo e as plantas acabam por servir como isolamento acústico, absorvendo e refletindo ondas sonoras, e há o efeito de barreira térmica, pois a vegetação acaba por interceptar a luz natural, reduzindo o calor irradiado, evitando variações bruscas de calor. Conseqüentemente aparece a vantagem econômica, visto os menores gastos estruturais e de revestimentos para cobertura, uma maior vida útil e obviamente o custo com refrigeração também decresce pela diminuição da carga térmica que a edificação recebe.

### 4.4. Janelas com controle de fluxo de ar

Este é um sistema que especifica o mecanismo de controle para janelas onde ar é forçado a passar pelas frestas entre as lâminas de vidro. Estas janelas são conhecidas como ‘janelas com controle de fluxo de ar’ ou *airflow windows*. Elas também são chamadas como janelas extratoras de calor ou janelas climáticas [Raffnsøe, 2007].

Uma aplicação comum é para reduzir a carga em uma zona forçando um sistema de exaustão do ar interno através da janela. Para áreas onde há refrigeração, este sistema expelle uma parte do calor absorvido do sol pelos vidros da janela (e pela cortina ou película, se existentes). Para áreas onde existe aquecimento, o fluxo de ar aquece o vidro, reduzindo a perda de calor pelas janelas. Logo, um benefício direto é o aumento do conforto térmico. Isto se dá, pois a superfície interior da janela será mais fria no verão e mais quente no inverno.

Na figura abaixo se vê as diferentes hipóteses a serem escolhidas para os sistemas de janelas com controle de fluxo de ar.

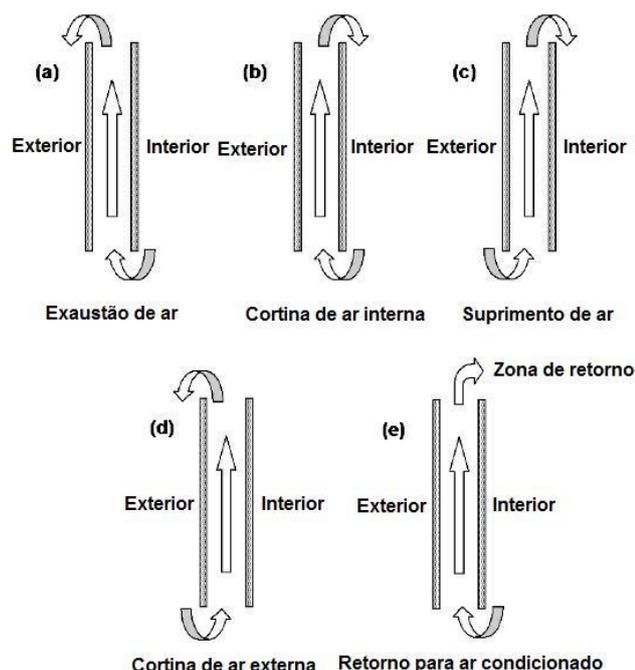


Figura 4.1: Diferentes tipos de utilização de janelas de controle de fluxo de ar [EnergyPlus, 2011]

#### 4.5. Controle de Potência de Iluminação

Neste método os níveis de iluminação natural são calculados e então utilizados para determinar o quanto de iluminação artificial pode ser reduzido [Torres, 2011] e [Siqueira, 2011]. O nível de iluminação natural em uma zona depende de muitos fatores, incluindo condição do céu (nublado ou ensolarado), posição solar, ponto onde está situado o sensor, localização, tamanho e transmitância dos vidros das janelas, dispositivos de sombra nas janelas (películas e/ou cortinas), e refletância das superfícies interiores. A redução do consumo de energia elétrica depende do nível de iluminação natural, do *setpoint* de iluminação, fração de zona controlada e tipo de controle de iluminação.

É importante ressaltar que para ambientes grandes, é sugerido que se utilize mais de um ponto de referência para o sensor, e que estes pontos estejam distribuídos simetricamente no ambiente, ou de forma que nenhuma parte fique defasada.

Existem dois tipos de controle de iluminação. O primeiro é chamado de controle contínuo que regula de forma contínua e linear da máxima a mínima energia elétrica com o aumento da iluminação natural, respectivamente. As luzes permanecem no ponto mínimo mesmo com o aumento da iluminação natural. O segundo tipo é conhecido como controle por degrau (*step*), onde a energia elétrica de entrada e a luz de saída variam de forma discreta e em degraus igualmente espaçados. A figura abaixo mostra os dois sistemas esquematizados.

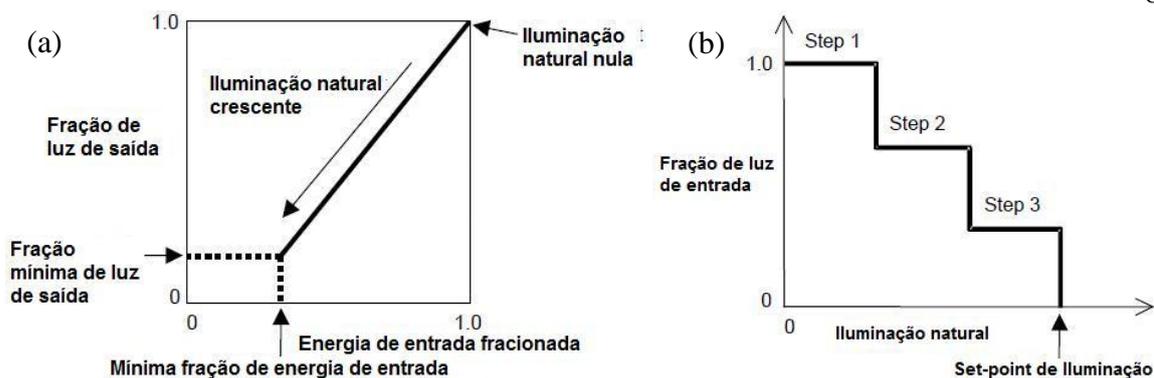


Figura 4.2: Controle de iluminação contínuo (a) e por degrau (b) [EnergyPlus, 2011]

Sabe-se que os níveis de iluminação não devem ultrapassar 1000 lux e nem serem inferiores a 250 lux, pois há ofuscamento e dificuldade de visualização, respectivamente. Portanto, o controle de iluminância adotado baseia-se na norma ABNT-NBR 5413 [1992], que prevê para ambiente de escritório e sala de aula, 500 lux de iluminância.

## 5. DESCRIÇÃO DO PROJETO BASE

A seguir são expostos os dados apresentados do prédio a ser construído, como detalhes construtivos e cargas térmicas a que ele estará submetido.

### 5.1. Características da edificação

A universidade de Lajeado, Univates, irá brevemente construir um novo prédio em seu campus. Foram então repassadas pelos arquitetos responsáveis as plantas da edificação para que fosse construído e simulado um modelo deste.

O projeto consiste em um prédio com dez diferentes zonas, onde apenas uma possui dois andares, e todas elas serão climatizadas. As zonas foram definidas (anexo 1) como:

E – Entrada (zona com dois andares)

C – Corredor

AS – Antessala

SISJ – Salas individuais sem janela

SICJ – Salas individuais com janela

MM – Miolo multifuncional

SC – Sala de conferências

SA – Sala de aula

S – Saída

WC – Sanitários

A edificação possuirá vias de acesso pela face sul (zona E) e norte (zona S), conforme pode ser visualizado na Figura 5.1.

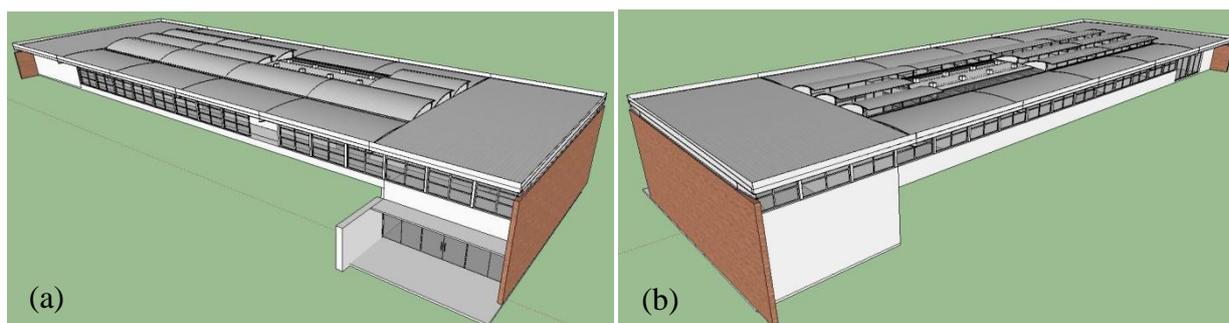


Figura 5.1: Fachada sul (a) e norte (b) do prédio.

Na figura anterior e anexo 3 é possível visualizar extensões do forro para proteção das janelas, evitando incidência direta de raios solares nos horários mais críticos do dia (12 – 15h).

## 5.2. Janelas

O projeto inicial não continha informações sobre o tipo de janelas e vidros a serem utilizados. Por isso, para as simulações iniciais, definiu-se que tanto janelas exteriores quanto interiores seriam de vidro claro simples, espessura de 3 mm.

## 5.3. Modelagem da edificação

Como citado anteriormente, a edificação foi dividida em 10 zonas diferentes para simulação com o EnergyPlus. Detalhes como área de janelas e piso, ocupação, equipamentos e iluminação são colocados na Tabela 5.1 abaixo.

Tabela 5.1: Detalhamento das zonas do prédio

	Área [m <sup>2</sup> ]	Condi- cionada (S/N)	Volume [m <sup>3</sup> ]	Área de paredes [m <sup>2</sup> ]	Área de janelas [m <sup>2</sup> ]	Luzes [W/m <sup>2</sup> ]	Pessoas [m <sup>2</sup> por pessoa]	Equipamentos [W/m <sup>2</sup> ]
<b>ENTRADA</b>	138	Sim	387,61	249,41	33,5	12	6,9	16
<b>CORREDOR</b>	118,45	Sim	644,32	134,36	80,04	12	11,85	16
<b>SAIDA</b>	90,98	Sim	373,72	43,57	0	12	4,55	16
<b>ANTE SALA</b>	86,82	Sim	254,59	48,82	21,13	12	2,89	16
<b>SALA DE AULA</b>	107,73	Sim	523	62,21	31,66	12	3,59	16
<b>SALA DE CONFERÊN- CIAS</b>	110,4	Sim	798,6	61,27	31,66	12	3,68	16
<b>SALAS INDIVIDUAIS COM JANELA</b>	36,75	Sim	129,73	47,1	17,98	12	3,06	16
<b>SALAS INDIVIDUAIS SEM JANELA</b>	36,75	Sim	142,17	10,9	10,59	12	3,06	16
<b>MIOLO</b>	94,85	Sim	320,32	0	30,8	12	10,54	16
<b>SANITÁRIOS</b>	46,27	Sim	221,75	74,18	0	12	7,71	16
<b>Total</b>	867,01		3795,81	731,81	257,35	12	4,84	16

Nestas 10 zonas foram colocados sistema de ar condicionado do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*), equivalente à sistemas *Split* ciclo reverso.

### 5.3.1. Cargas Internas

Além da principal fonte de calor, o sol, é de grande importância para a carga térmica do prédio, as cargas internas, sendo elas provenientes das pessoas, iluminação e equipamentos.

#### 5.3.1.1. Pessoas

Tratando-se de um prédio de universidade, a movimentação de pessoas é grande. Nas simulações, sempre foi colocado o número máximo de pessoas que a respectiva zona pode comportar, pois se entende que a edificação deve estar bem projetada para as situações mais extremas que podem ocorrer. Na Tabela 5.2 estão descritas estas informações.

Tabela 5.2: Quantidade de pessoas por zona do prédio

Zona	Pessoas (Quantidade)
ENTRADA	20
CORREDOR	10
SAÍDA	20
ANTE SALA	30
SALA DE AULA	30
SALA DE CONFERÊNCIAS	30
SALAS INDIVIDUAIS COM JANELA	12
SALAS INDIVIDUAIS SEM JANELA	12
MIOLO	9
SANITÁRIOS	6
TOTAL	179

### 5.3.1.2. Iluminação

Para o projeto base, também não havia projeto luminotécnico, logo foi definido a utilização de lâmpadas fluorescentes, que são o padrão das edificações acadêmicas na atualidade. A Tabela 5.3 apresenta detalhes de potência, frações visível e radiante (formada por radiação ultravioleta, visível e infravermelha).

Tabela 5.3: Detalhamento da iluminação adotada no prédio base

Potência por área de piso (W/m <sup>2</sup> )	12
Fração Radiante	0,37
Fração Visível	0,18

### 5.3.1.3. Equipamentos

Naturalmente, um prédio multifuncional, onde não haverá apenas salas de aula, mas salas de professores, salas de reunião e de pesquisa, há uma grande quantidade de equipamentos previstos. Novamente, foi simulada a pior condição possível para cada sala, estimando-se uma taxa de 16 W/m<sup>2</sup> para cada ambiente, com uma fração radiante de 0,3 [ASHRAE 90.1, 2007]. Estes são valores para uma estação de trabalho (escritório) pesada.

## 6. SIMULAÇÃO

Para obter-se resultados com o EnergyPlus, o preenchimento de inúmeros dados é requisitado. A seguir são apresentadas condições e resultados do projeto base e, em seguida, sugestões de melhoria.

### 6.1. Arquivo climático

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações [LabEEE, 2012] disponibiliza 411 arquivos climáticos de cidades brasileiras. A cidade de Lajeado ainda não possui tal arquivo, por isso, foi utilizado para a simulação os dados da cidade de Rio Pardo (mais próxima) que fica aproximadamente a 80 km de distância. Visto que as cidades pertencem à mesma região do estado do Rio Grande do Sul, entende-se que isso não irá gerar erros significativos à simulação.

### 6.2. Horários

As simulações foram realizadas para o ano de 2013, respeitando o calendário acadêmico da universidade. Isso significa que a edificação terá 50% de suas cargas internas no período de férias de verão e inverno, e 100% nos períodos de aula. Foi repassado também

que o horário de utilização do prédio ficará restrito aos turnos da manhã e noite, totalizando 2430 horas anuais.

### 6.3. Simulação do projeto base

Com finalidade de comparação com as modificações sugeridas, o projeto base foi simulado no EnergyPlus.

#### 6.3.1. Resultados do projeto base

O consumo de energia nos meses de calor é liderado pelo ar condicionado, e também nos meses de frio quando se faz necessário o aquecimento do ambiente. Nota-se também que o consumo devido aos equipamentos e iluminação crescem nos períodos letivos da universidade. Pode-se verificar estas informações na Figura 6.1.

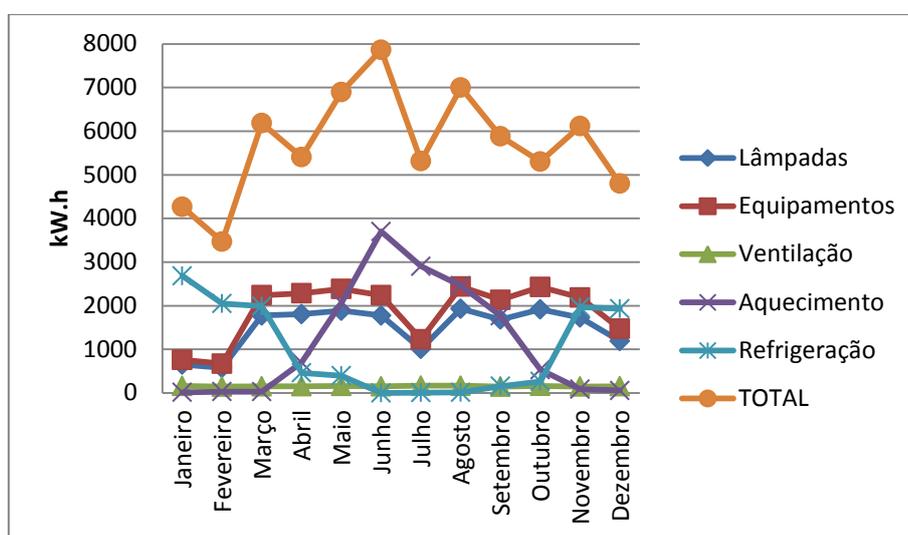


Figura 6.1: Gráfico do consumo energético pelos meses do ano

Já na Figura 6.2, visualiza-se os dados de consumo de energia acumulados em um ano. Os dispêndios com equipamentos e iluminação lideram o consumo energético.

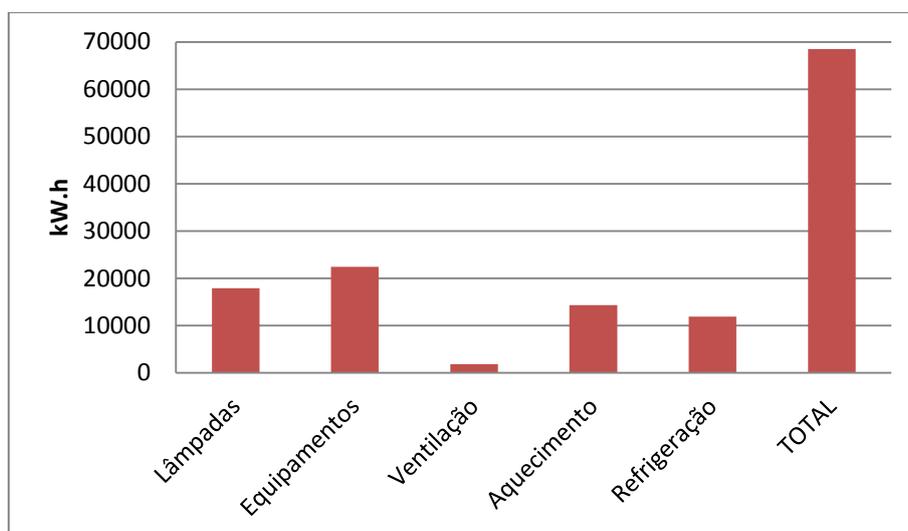


Figura 6.2: Gráfico do consumo energético anual

Para um melhor entendimento das causas dos gastos de energia demonstrados nas figuras anteriores, gerou-se um gráfico de ganhos e perdas de energia que está exposto na Figura 6.3.

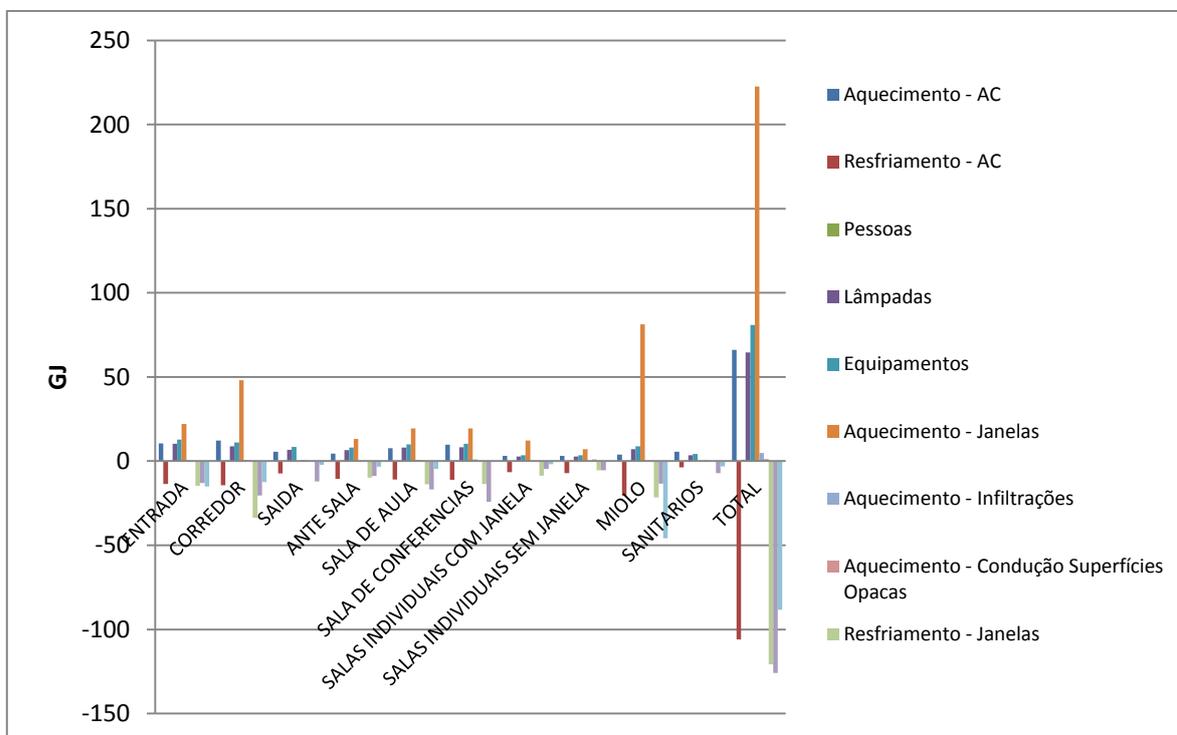


Figura 6.3: Gráfico dos ganhos e perdas de energia do prédio base

#### 6.4. Simulação das modificações sugeridas

É previsto que esse trabalho atenda a norma ASHRAE 90.1 [2007], que prevê que um prédio deve ter no máximo 300 horas de desconforto térmico em um ano. Por isso, a seguir são descritas as modificações sugeridas para este projeto.

##### 6.4.1. Telhado

Sabendo das inúmeras vantagens da aplicação do teto verde, foi colocado uma camada de 0,1 metro de solo e 0,2 metro de plantas no telhado.

##### 6.4.2. Vidros externos

Visto que o maior ganho de calor era através das janelas, na nova simulação, definiu-se que os vidros externos deveriam ser duplos, sendo a camada exterior de vidro de 3 mm com película com transmissibilidade visível de 55%, uma camada de 13 mm de ar, e finalizando com vidro claro simples de 6 mm de espessura.

Nas janelas da fachada sul foi colocado o sistema de janelas com controle de fluxo de ar (*airflow control*), tipo retorno de ar, pois além do efeito cortina térmica, o ele ajudará o ar condicionado, diminuindo o consumo de energia.

##### 6.4.3. Cortina externa (*brises*)

Ainda na tentativa de reduzir os ganhos de calor por meio dos vidros, foi colocado na simulação a existência de cortinas externas, ou como são conhecidas no ramo arquitetônico, *brises*. Essa é uma prática bastante comum em prédios com grandes fachadas envidraçadas

como é o caso deste projeto. Na Figura 6.4 encontra-se um exemplo similar ao que será utilizado no prédio da Univates.



Figura 6.4: *Bris*es para proteção solar [Douglas, 2012]

Os *brises* utilizados neste trabalho são de refletividade média, e possuem lâminas de 25 cm de largura situados na horizontal ( $90^\circ$ ), 1 cm de espessura e espaçamento também de 25 cm.

#### 6.4.4. Iluminação LED

Para redução de energia com iluminação, a tecnologia LED será implementada, pois estas lâmpadas justificam o investimento visto que consomem menos energia, logo, dissipam menos calor e possuem uma maior vida útil.

Dando seguimento em melhorias da iluminação, dois sistemas serão também colocados em prática. O primeiro e mais comum são os sensores de presença para áreas onde a circulação de pessoas é eventual, como um corredor, por exemplo. A segunda será a implementação do controle de iluminação contínuo, ou seja, em horários com bom nível de iluminação natural, o consumo energético será bastante inferior. Verifica-se na Tabela 6.1 as propriedades deste sistema, lembrando que a fração radiante é composta por radiação ultravioleta, visível e infravermelha.

Tabela 6.1: Detalhamento da iluminação utilizada no prédio final

Potência por área de piso ( $W/m^2$ )	8
Fração Radiante	0,37
Fração Visível	0,288

#### 6.4.5. Ventilação natural

Janelas externas e internas foram automatizadas, para que nos meses de calor (de Outubro a Abril) as janelas abram quando a temperatura exterior for menor que a interior. Para que isso fosse efetivo, foi necessária instalação de janelas na fachada sul das zonas S e SISJ.

#### 6.4.6. Telhado de vidro

Independente de quantas zonas uma edificação possui, se apenas uma delas está em desconforto, mesmo assim é considerada uma hora de desconforto. Como foi visualizado na Figura 6.3, a zona MM era a que recebia maior carga térmica, estando em disparidade com as

outras. Assim, foi necessária a retirada do telhado de vidro, substituindo-o pelo mesmo material do forro de outras partes do prédio, como se pode ver na Figura 6.5.

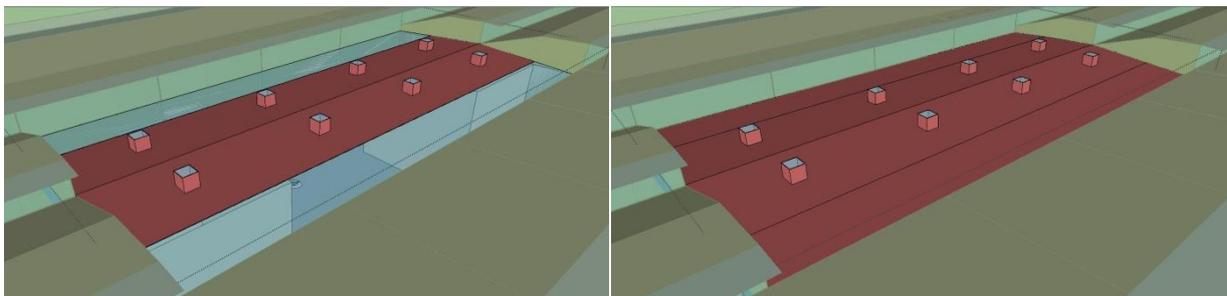


Figura 6.5: Imagem mostrando à direita telhado modificado, sem vidro.

## 7. RESULTADOS

Após simulado o modelo com as sugestões propostas, verificou-se um decréscimo do consumo de energia em todos os setores, como pode ser visualizado na Figura 7.1.

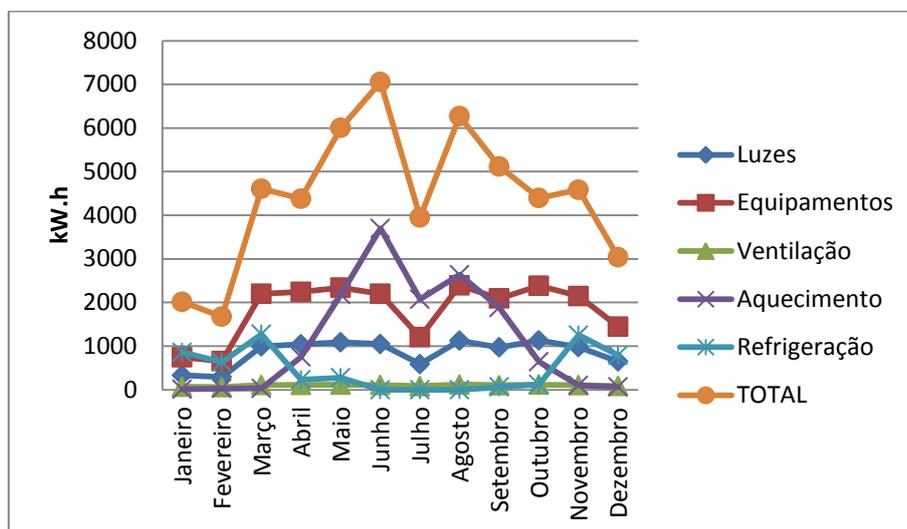


Figura 7.1: Gráfico do consumo mensal do prédio final

Em consequência ao menor consumo de energia durante os meses, o consumo final do ano também foi menor, verificado na Figura 7.2.

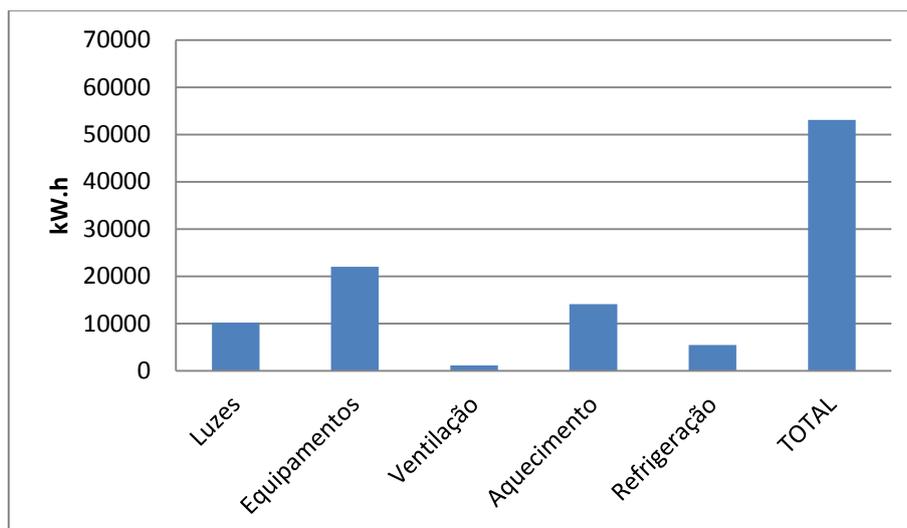


Figura 7.2: Gráfico do consumo energético anual

Os valores de consumo menores podem ser facilmente compreendidos analisando a Figura 7.3, que mostra que o calor recebido e perdido pelas janelas foi reduzido em aproximadamente 77%.

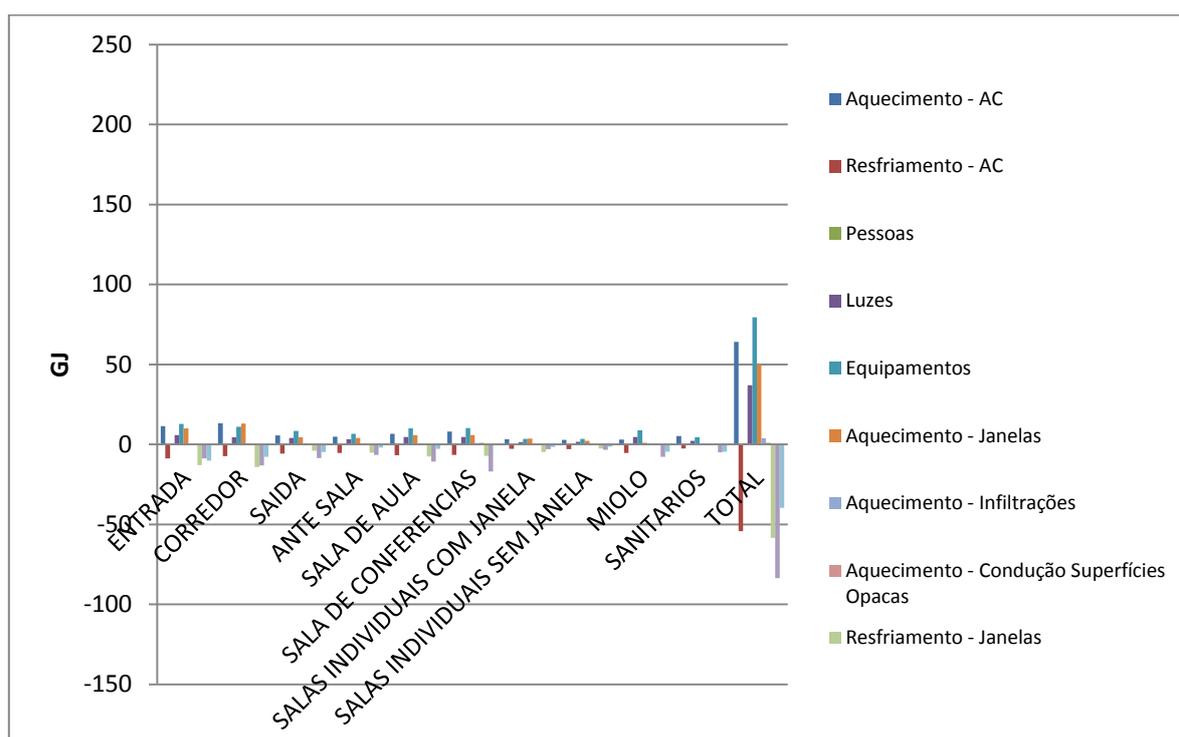


Figura 7.3: Gráfico de ganhos e perdas de energia do prédio final

Embora o prédio já se enquadrasse na norma ASHRAE 90.1 [2007], a Tabela 7.1 mostra que a redução de horas de desconforto térmico no prédio final chegou a 86%.

Tabela 7.1: Horas de desconforto nos prédios base e final

Horas de Desconforto	Horas Totais	Horas de Calor	Horas de Frio
Prédio Base	157	120	37
Prédio Final	22	6	16
Redução (%)	86	95	56,7

As reduções de consumo ficam bastante claras quando se analisa a Figura 7.4, onde estão comparados os prédios base e final.

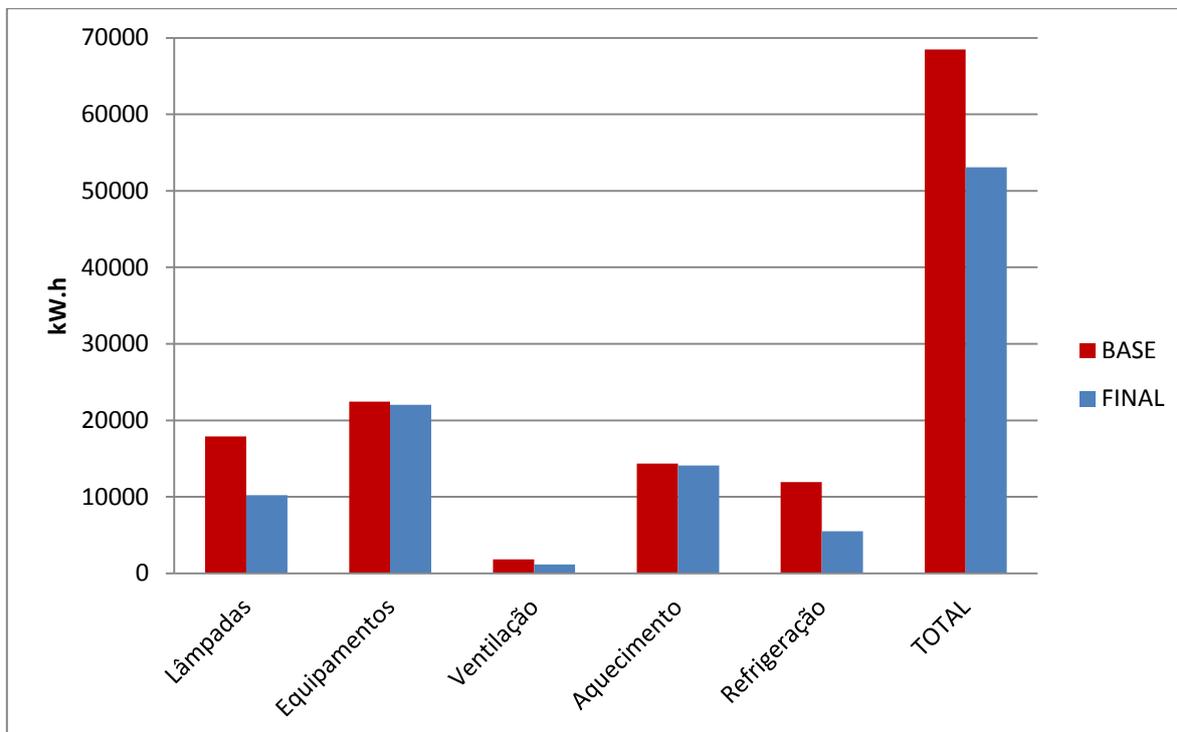


Figura 7.4: Gráfico comparativo dos consumos energéticos

Por fim, na Tabela 7.2, fica explicitado que a economia energética chegou a 22,5% quando comparado ao prédio base.

Tabela 7.2: Redução de custos com o projeto final

	TOTAL (kW.h)
<b>Prédio Base</b>	68.497
<b>Prédio Final</b>	53.090
<b>Redução</b>	15.407

## 8. CONCLUSÕES

A ferramenta da simulação energética se mostrou útil, visto que foi possível reduzir as horas de desconforto em 86% e a diminuição do consumo de energia em 22,5%, valor de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética [Eletrobras, 2012]. Todas as alterações sugeridas tiveram efeito positivo, dando-se destaque ao controle de iluminação, responsável por evitar um consumo duas vezes maior.

Fachadas envidraçadas agregam valor estético a uma edificação, porém propiciam uma imensa carga térmica. A utilização de películas e vidros duplos apresentou ótimos resultados, fazendo também o consumo do ar condicionado com resfriamento despencar 50%.

Todos os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através de simulações utilizando o EnergyPlus e arquivo climático de Rio Pardo.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR 5413, 1992 “Associação Brasileira de Normas Técnicas - Iluminância de interiores”

ASHRAE, 2005 “**Fundamentals Handbook - Chapter 8 - Thermal Comfort**”

ASHRAE 55, 2004 “**Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**”

ASHRAE 90.1, 2007 “**Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings I-P Edition**”

ASHRAE SI, 2009 “**Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations – Chapter 18**”

DOE, 2012 Disponibilizado pelo **U.S. Department of Energy**. Download do programa EnergyPlus e *plug-in* OpenStudio: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> - acessado 09/12/2012

Douglas, H., 2012 Imagem dos **Brisas**: <http://www2.hunterdouglas.com.br/galeria/quiebravistas/metalbrise/index.htm> - acessado 09/12/2012

Eletrobras, 2012 “**Procel Edifica**” Eficiência Energética das Edificações: <http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7BA8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55%7D> – acessado 09/12/2012

EnergyPlus, 2011 “**EnergyPlus Engineering Reference**”. U.S. Department of Energy

EnergyPlus, 2011 “**EnergyPlus Input-Output Reference**”. U.S. Department of Energy

Google, 2012 Disponibilizado por **Google**. Download do programa Google SketchUp: <http://www.sketchup.com/intl/pt-BR/> - acessado 09/12/2012

IEA, 2012 “**Energy Efficiency**”: <http://www.iea.org/> - acessado 09/12/2012

LabEEE, 2012 “**Arquivos Climáticos**”: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> - acessado 09/12/2012

Martins, M.P. de S, 1999 “**Inovação Tecnológica e Eficiência Energética**”. MBA em Energia Elétrica, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

NBR 6140, 1980 “**Instalações Centrais de Ar-condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto**”

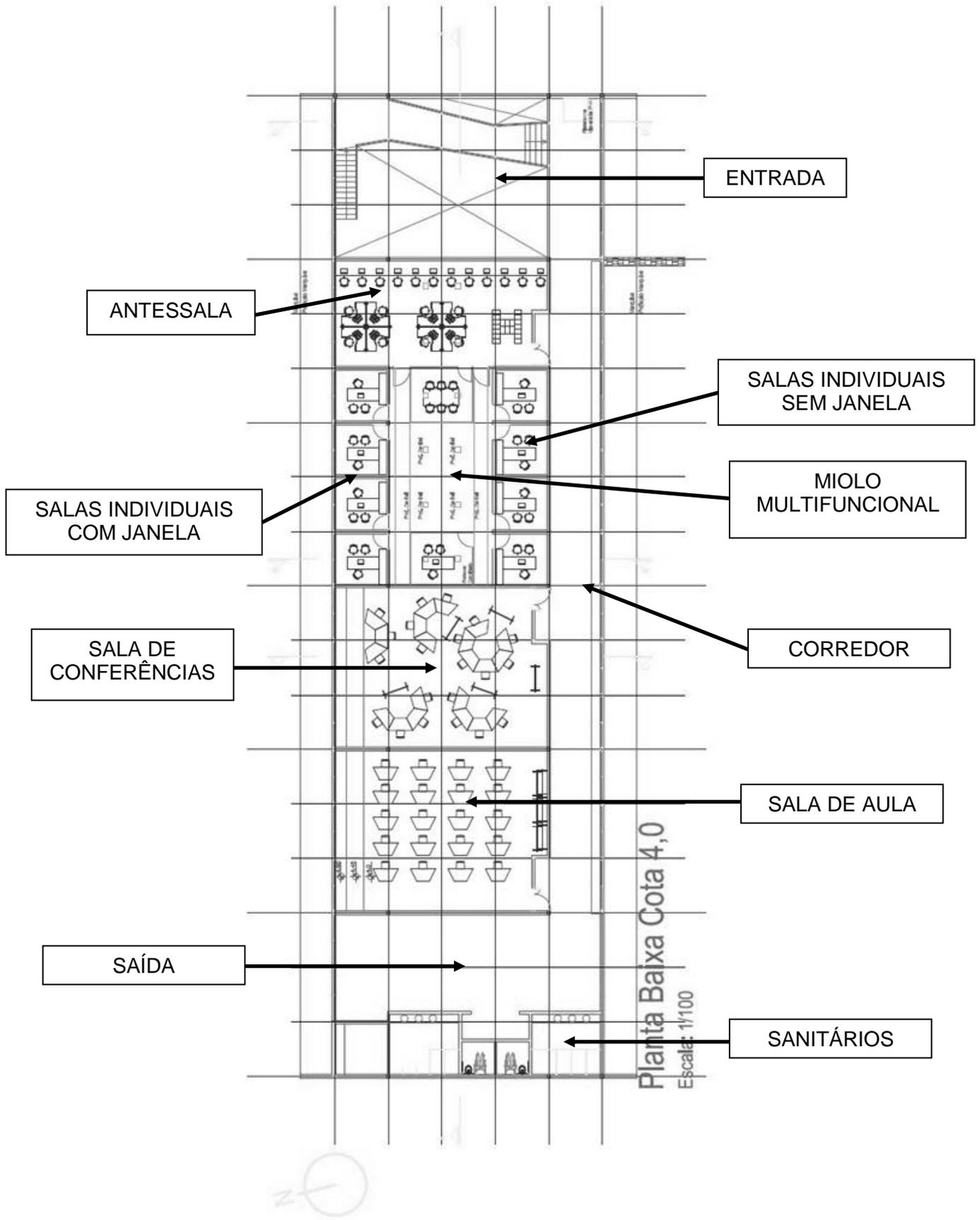
Raffnsøe, L. M., 2007 “**Thermal Performance of Air Flow Windows**”. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering BYG·DTU

Siqueira, E. M., 2011 “**Projeto do Envoltório de um Prédio com Energia Líquida Zero (PELZ)**”. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

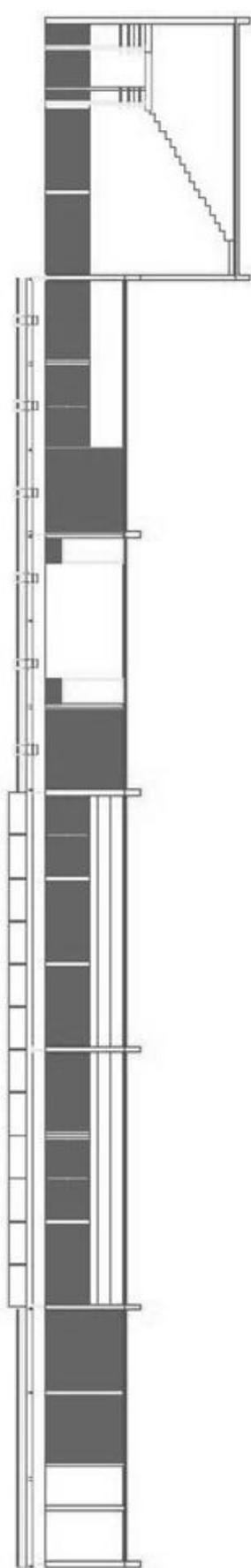
Souza, F., 2010 “**Simulação Visando Eficiência Energética de um Prédio da UFRGS Utilizando o EnergyPlus**”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Torres, R. G., 2011 “**Projeto de um Prédio de Energia Líquida Zero (PELZ) com Foco nos Sistemas**”. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

ANEXO 1 – Planta baixa [Krebs, L, 2012]



ANEXO 2 – Corte AA [Krebes, L, 2012]



Corte AA  
Escala: 1/100

