

FABIO SOUZA

SIMULAÇÃO VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM PRÉDIO DA UFRGS
UTILIZANDO O ENERGYPLUS

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.

Orientadores: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Porto Alegre
2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

**SIMULAÇÃO VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM PRÉDIO DA UFRGS
UTILIZANDO O ENERGY PLUS**

FABIO SOUZA

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

**Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Horacio Antônio Vielmo
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Sergio Frey
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Bardo
UFRGS / DEMEC**

**Porto Alegre
2010**

de modo especial, à todos que fizeram parte desse momento e aos meus pais, por todo o apoio

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família por todo apoio.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Paulo Otto Beyer* pelo apoio, paciência, tempo disponibilizado e, principalmente, pelos conhecimentos passados nesse período.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por todas as oportunidades e conhecimentos disponibilizados.

As famílias Teixeira Borges e Marks Löw por terem me recebido de portas abertas.

A Tia Erica pela ajuda no início dessa etapa.

A coisa mais bela que podemos experimentar é o mistério. É a fonte de toda arte e ciências
verdadeiras
Albert Einstein

SOUZA, Fabio. **Simulação visando eficiência energética de um novo prédio da UFRGS utilizando o energyplus**. 2010. 27f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

RESUMO

O presente trabalho é dedicado à simulação da eficiência energética de uma nova edificação que será construída na UFRGS. O trabalho é iniciado com a construção do modelo em 3D utilizando-se duas ferramentas para isso: Google Sketchup e o Plugin Open Studio, lembrando que durante a construção do modelo trabalha-se sempre no plugin. Após a construção do modelo inicia-se a análise do desempenho energético com o auxílio do EnergyPlus. As simulações da edificação serão realizadas baseadas nos arquivos dias de projeto (*Sizing Periods*) e com o arquivo climático (*Run Periods*) de Porto Alegre. Os ambientes da edificação foram divididos em oito zonas, sendo que somente seis serão atendidas pelo sistema de climatização, que será feita por splits. As outras duas zonas também são consideradas na simulação. No final são apresentados resultados da simulação para a verificação dos elementos construtivos como vidros, proteções nas janelas, tipos de telhas, potência das lâmpadas e revestimentos. Conforme os resultados, serão propostas alterações no projeto.

PALAVRAS-CHAVE: EnergyPlus, conforto térmico, eficiência energética em edificações.

SOUZA, Fabio. **Simulation viewing energy efficiency of a new building of UFRGS utilizing the energyplus**. 2010. 27f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Mechanical Engineering Department Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

ABSTRACT

This work is dedicated to the simulation of energy efficiency of a new building to be erected at UFRGS (Federal University of Rio Grande do Sul). This work is initiated with the construction of the model in 3D utilizing two tools: Google Sketch-up and Open Plug-in, having in mind that during the model construction the Plug-in is always used. After the construction of the model, analysis of the energy performance with the aid of the EnergyPlus is initiated. The simulations of the building will be carried out based on the Sizing Periods and with the Run Periods of Porto Alegre. The rooms of the building have been divided into eight zones in that six of them will be served by the system of acclimatization to be done by splits. The remaining two zones will also be considered in the simulation. At the end, results of the simulation for the verification of the building materials such as glass, window screens, types of roof-tiles, bulb power and wall coverings will be shown. Alterations in the project will be presented based on the results.

Key words: EnergyPlus, thermal comfort, energy efficiency in buildings.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	comprimento
L	largura
H	altura
SR	Sala de Reuniões
SI	Sala de Informática
CSA	Sala de Controle de Sistemas Automatizados
LEA	Laboratório de experimentos de Automação
GDM	Gabinete dos Doutorandos
AS	Salas de Aula
GaP	Gabinete dos Professores
Sec	Secretária
BaM	Banheiro Masculino de Professores e Funcionários
JaE	Jardim Externo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO	1
2.1. Equações utilizadas pelo programa	1
2.1.1. Superfícies opacas.....	1
2.1.2. Superfícies Translúcidas	2
2.1.2.1. Radiação solar direta.....	2
2.1.2.1. Radiação solar difusa	2
2.1.2.3. Radiação solar refletida	3
2.1.2.4. Ganho solar	3
2.1.2.5. Fluxo transmitido por janelas	3
2.1.2.6. Radiação solar interna absorvida pelas superfícies opacas	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Eficiência energética.....	4
3.3. Teto verde ou <i>ecorooft</i>	5
4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	6
4.1. Características da edificação	6
4.2. Envelopamento da edificação	7
4.2.1. Paredes, Pisos, Tetos e Divisórias – Do Projeto Base	7
4.2.2. Janelas	8
4.3. Modelagem da edificação:.....	8
4.3.1. Zona térmica	8
4.3.2. Cargas Internas	9
4.3.3. Pessoas	10
4.3.4. Iluminação	10
4.3.5. Equipamentos	10
5. A SIMULAÇÃO	10
5.1. Arquivo climático a dias de projeto	10
5.2. Horários.....	10
5.3. Simulação da edificação de projeto base	10
5.4. Simulação das alterações propostas.....	11
5.4.1. Luzes	12
5.4.2. Piso Ventilado	12

5.4.4. Telhas isoladas	13
5.4.5. Uso da iluminação natural	13
6.0. RESULTADOS.....	13
7. CONCLUSÕES.....	15
8. REFERÊNCIAS.....	16
9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	16
APÊNDICE A – PROPRIEDADES DOS VIDROS [FONTE: CEBRACE, 2010].....	17
APÊNDICE B. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (BANCO DE DADOS DO ENERGYPLUS)	18
ANEXO A – PLANTA BAIXA 1º ANDAR [KREBES, 2010].....	19
– CORTE BB [Krebes, 2010].....	20
– CORTE FF [Krebes, 2010]	21

1. INTRODUÇÃO

O aumento acentuado do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, tem aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Outro problema seria o impacto ao meio ambiente como resultado dessa atividade. Finalmente os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas.

A administração dos recursos de energia é hoje um dos principais desafios que, a nível mundial, a sociedade moderna enfrenta. Uma economia com crescimento acelerado que tem prevalecido nos últimos anos, é caracterizada pela utilização da energia de forma extremamente intensa. Energia essa, que tem origem em fontes finitas e, para sua produção, tem-se um impacto ambiental muito grande. Tem-se como exemplo as construções de usinas hidrelétricas, termoelétrica e nucleares.

Uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo, sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico, tem sido o uso eficiente da energia, que no caso das construções, abrange o desenvolvimento de projetos mais eficientes desde a sua concepção e, principalmente, durante o tempo de vida útil.

1.1. Motivação

Ainda hoje, apesar do apelo que existe em relação à falta de energia, a quantidade de projetos que visam à eficiência energética ainda é baixo. São poucos os projetos que se preocupam com os recursos disponíveis na natureza. Os projetos de residências, na sua minoria, abrangem eficiência energética. Entretanto, em edifícios comerciais e residenciais isso já começa a mudar. Os projetos tentam minimizar o gasto com energia.

Portanto, será foco desse trabalho a eficiência energética de uma nova edificação que será construída. Com base na simulação do prédio, serão propostas alterações nos elementos construtivos visando a redução no consumo de energia elétrica sem prejudicar o conforto térmico.

2. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste trabalho se fez o uso de três programas disponíveis gratuitamente na internet. O primeiro, o Google Sketchup, versão 7.1.6860, é utilizado junto com o OpenStudio, versão 1.0.362, que é um plugin disponível para o Google Sketchup. O plugin foi desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory para Department of Energy dos EUA com a finalidade de permitir usar as ferramentas padrão do Sketchup para criar e editar superfícies. Para a simulação utiliza-se o EnergyPlus versão 5.0. Nesse programa é realizada a entrada de dados, como por exemplo, as propriedades dos materiais, elementos construtivos, tipo de vidros, portas, cores externas, número de pessoas que irão frequentar as dependências, localização e o tipo de ar-condicionado que será utilizado para refrigeração e aquecimento.

A primeira simulação realizada terá como base o projeto proposto. Uma vez obtidos os resultados, serão apresentadas propostas para mudanças no projeto.

2.1. Equações utilizadas pelo programa

2.1.1. Superfícies opacas

A solução usa Função de Transferência, que é uma série temporal da equação que relaciona o fluxo em uma superfície de um elemento para uma série infinita de resultados de temperatura em ambos os lados, em tempos regressivos. A forma básica da função transferência para condução é mostrada pela seguinte equação:

Para fluxo de calor interno:

$$q''_{ki}(t) = -Z_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_0 T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

Para fluxo de calor externo:

$$q''_{ko}(t) = -Y_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_0 T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta}$$

onde:

T = temperatura, K

i = interior da edificação

o = exterior da edificação

t = representa o tempo em cálculo

X_j = coeficiente externo da função de transferência por condução, CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Y_j = coeficiente cruzado da CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Z_j = coeficiente interno da CTF, $j = 0, 1, \dots, nz$.

Φ_φ = coeficiente de fluxo da CTF, $j = 1, 2, \dots, nq$

$q''_k(t)$ = fluxo de calor por condução (W/m^2)

O subscrito após a vírgula indica o período de tempo em termos de quantidade de passo de tempo δ .

O método básico usado no EnergyPlus para cálculos CFT é conhecido como método de espaço de estado. Outro mais comum usa transformadas de Laplace para chegar à solução.

2.1.2. Superfícies Translúcidas

2.1.2.1. Radiação solar direta

Na superfície da Terra em um dia claro, a irradiação direta normal é representada por:

$$I_{nd} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin\beta}\right)}$$

onde:

I_{nd} = irradiação normal direta (W/m^2)

A = irradiação normal aparente na massa de ar $m=0$ (W/m^2)

B = coeficiente de extinção atmosférica

β = ângulo de incidência da radiação

2.1.2.1. Radiação solar difusa

No EnergyPlus o cálculo da radiação solar difusa incidente do céu sobre uma superfície exterior leva em conta a distribuição de radiação anisotrópica do céu. Para esta distribuição, a radiação difusa do céu em uma superfície é dada por:

$$R_{sdf} = A_{SM} * I_{SD}$$

onde:

R_{sdf} = radiação solar difusa do céu na Terra (W/m²)

A_{SM} = multiplicador anisotrópico do céu. É determinado pela orientação da superfície e distribuição de radiação.

I_{SD} = irradiação solar difusa (W/m²)

2.1.2.3. Radiação solar refletida

Valores de reflectância do solo são utilizados para calcular o calor total refletido pelo solo. Esse montante fracionado é usado a seguir:

$$G_{RS} = (B_S * \cos(\theta) + D_S) * G_R$$

onde:

G_{RS} = radiação solar refletida (W/m²)

B_S = radiação solar direta (W/m²)

θ = ângulo zenital do sol

D_S = radiação solar difusa (W/m²)

G_R = refletância do solo

2.1.2.4. Ganho solar

O ganho total solar em qualquer superfície exterior é uma combinação da radiação solar direta, difusa e refletida, sendo dada por:

$$Q_{SO} = I_b * \cos(\theta) * \frac{S_S}{S} + I_S * F_{SS} + I_g * F_{Sg}$$

onde:

Q_{SO} = ganho total solar (W/m²)

I_b = intensidade do feixe (direta) de radiação (W/m²)

θ = ângulo de incidência dos raios do sol

S_S = área iluminada pelo sol, m²

S = área da superfície, m²

I_S = intensidade da radiação difusa do céu (W/m²)

F_{SS} = fator de visão entre a superfície e o céu

I_g = intensidade da radiação difusa refletida pelo solo (W/m²)

F_{Sg} = fator de visão entre a superfície e o solo

2.1.2.5. Fluxo transmitido por janelas

O fluxo transmitido é dado por:

$$Q_{tj} = T(\theta) * Q_{so}$$

onde:

Q_{tj} = fluxo transmitido pelos vidros

T = transmitância dos vidros

θ = ângulo de incidência dos raios do sol

Q_{so} = ganho total em calor

2.1.2.6. Radiação solar interna absorvida pelas superfícies opacas

A radiação em ondas curtas absorvida na face interna de uma superfície opaca (piso, parede ou teto) é dada por:

$$Q_{rad.int(SN)} = QS_{ZN} * AbsIS_{SN} + AIS_{SN} * BS_{rad}$$

onde:

$Q_{rad.int(SN)}$ = radiação absorvida na face interna (W/m²)

ZN = número da zona

SN = número da superfície

QS_{ZN} = irradiação difusa na zona (W/m²)

$AbsIS_{SN}$ = absorptância solar da superfície interior

AIS_{SN} = fator de irradiação solar direta da superfície

BS_{rad} = irradiação solar direta externa (W/m²)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Eficiência energética

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento econômico também tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações a nível global. O Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar seu esgotamento [Manual de eficiência energética, 2010]

Eficiência energética, considerando energia em edificações, pode ser considerada como a redução no consumo de energia se comparado à outra edificação semelhante. A construção será eficiente em termos de energia se economizar energia sem abrir mão do conforto térmico.

A maneira como utilizamos a energia disponível é imprescindível para se atingirem metas no que diz respeito à eficiência energética.

3.2. Fachada Ventilada

Fachadas ventiladas combinam funções estéticas com bom desempenho térmico além de contribuir para a redução de carga no ar-condicionado. Em tempos de exigência de menor consumo energético, essa solução irá contribuir na redução do consumo de energia. [Revista Técnica, 2010].

No projeto em estudo, a cavidade formada por esse tipo de fachada terá 15 cm e funcionará como um colchão de ar renovável sendo permanente a troca de calor. Do ponto de vista térmico, a presença de uma cavidade ventilada modifica as condições de calor no interior da edificação. Os painéis externos funcionam como um defletor de radiação, conforme Figura 3.1 Para acabamento, as placas serão revestidas com porcelanato na cor palha.

A presença da lâmina de ar é uma característica desse tipo de fachada, uma vez que é responsável pelo desencadeamento do efeito chaminé, ou seja, um sistema eficaz e natural de ventilação. No prédio em estudo, a frente e as fachadas do primeiro e segundo andares serão ventiladas por estarem na posição de maior insolação. A área total ventilada será de 166.85 m².

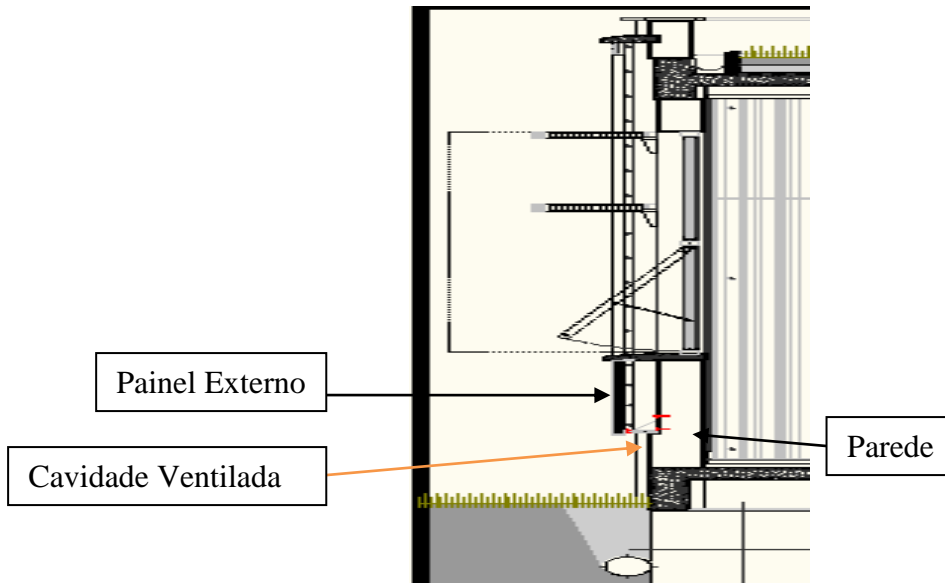


Figura 3.1: Fachada ventilada em corte (Krebes,2010)

3.3. Teto verde ou *ecorooft*

A idéia de teto verde remonta a milhares de anos. As civilizações da Mesopotâmia originaram o conceito e os Gregos, Romanos e Persas e outras culturas tiveram de alguma forma seus telhados verdes, tendo o objetivo comum de isolar o ambiente interno das elevadas temperaturas. No outro extremo climático, já se usava essa técnica na Escandinávia para promover um calor extra. [Green Roof Plants, A Resource and Planting Guide]

A aplicação desse tipo de teto é bastante comum na América do Norte e Europa. O governo canadense em 2004 incluiu tetos verdes como uma iniciativa sustentável. O resultado foi surgimento de um novo setor somente dedicado aos tetos verdes.

A Figura 3.2 ilustra o teto verde da construção em estudo. O teto verde será utilizado no teto do Laboratório de experimentos de Automação (LEA) com área aproveitável de 84.89 m² e exposição a vento e sol.

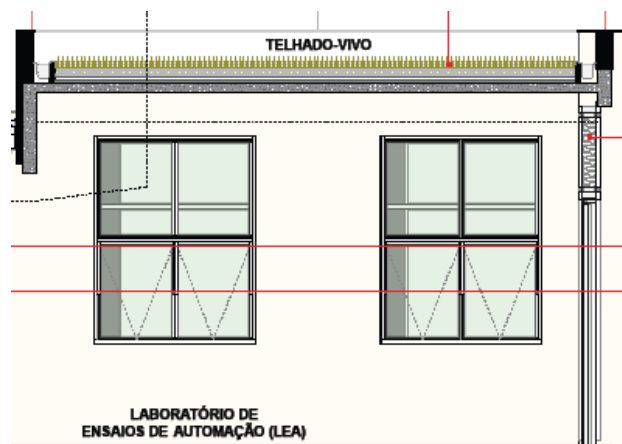


Figura 3.2. Corte do teto verde no LEA

Farão parte deste teto: laje de concreto, manta betonítica para impermeabilização, manta impermeabilizante à base de asfalto modificado com polímeros plastoméricos e adição de herbicidas, camada de feltro, camada estanque de retenção do excesso de umidade, argila expandida, camada de feltro, substrato vegetal e cobertura perene.

4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

4.1. Características da edificação

Foi solicitada a simulação de uma edificação que será construída na UFRGS, tendo como objetivo a escolha de materiais da edificação que reduzam o consumo de energia no sistema de climatização.

O projeto arquitetônico consiste em um edifício de dois pavimentos, com oito ambientes, sendo que somente três ambientes serão climatizados no primeiro e segundo andares, totalizando seis ambientes climatizados. O primeiro andar, nas áreas que serão climatizados, foi dividido em:

- A- Secretária
- B- Sala de Reuniões (SR)
- C- Sala de Informática (SI)
- D- Sala de Controle de Sistemas Automatizados (CSA)
- E- Laboratório de experimentos de Automação (LEA)

O primeiro andar não será climatizado nas seguintes áreas:

- F- Circulação
- G- Acesso Principal
- H- Vestiários em geral

O segundo andar será climatizado nas seguintes salas:

- I- Gabinete dos Doutorandos (GDM)
- J- Salas de Aula (SA)
- K- Gabinete dos Professores (GaP)

Esse prédio se caracteriza pela utilização, no lado Norte-Nordeste, do uso de fachadas ventiladas e utilização de proteções nas janelas, conforme Figura 4.1, junto com vidros duplos.

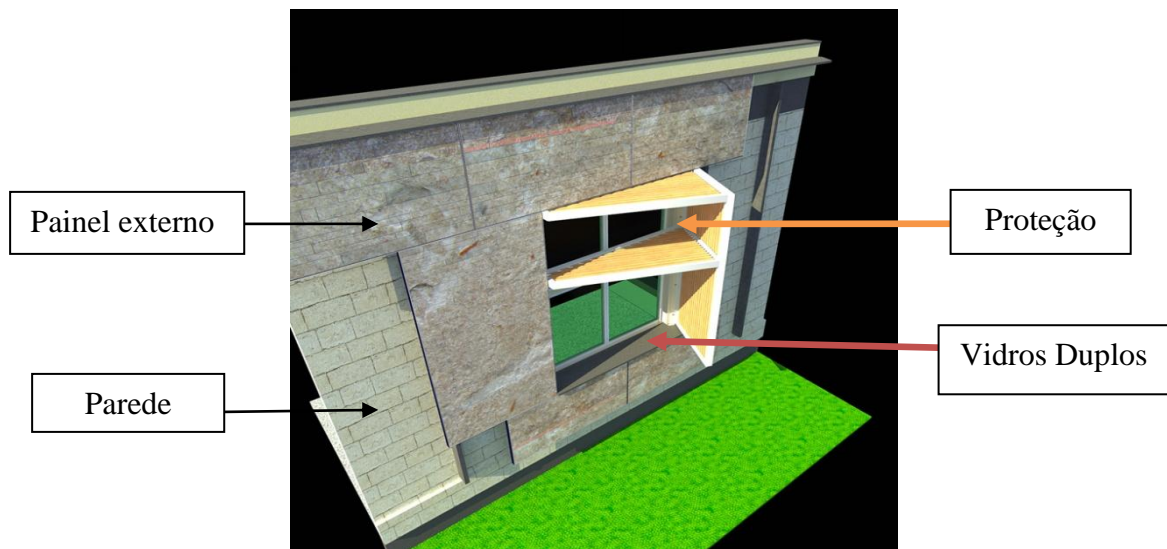


Figura 4.1. Proteção nas janelas (Krebes, 2010)

O teto verde da cobertura do laboratório de Experimentos de Automação (LEA) irá funcionar também como uma área de descanso, tendo acesso pelo segundo andar, através do gabinete dos professores.

As salas serão revestidas, no chão, com tacos de bambú, e no laboratório e área de circulação piso na cor clara.

A Figura 4.2 ilustra a entrada do prédio tendo um pórtico de concreto com um brise na vertical, pintado na cor vermelha que servirá para diminuir a radiação solar, pois há uma grande área envidraçada utilizando esquadrias fixas, branca e em alumínio com vidro refletivo plano simples de baixa reflexão modelo Eco Lite Cebrace com $L=4\text{mm}$ e sem aberturas. A única abertura existente, nessa fachada, será a porta de acesso que será pivotante.



Figura 4.2. Detalhe do pórtico de entrada. (Krebs, 2010)

Conforme o Anexo A, a planta baixa da cobertura mostra que a área de circulação, além de vidro irá contar também com telhas isoladas da marca Alcoa, modelo Alcoflon formadas por duas chapas de alumínio trapezoidais, utilizando entre as chapas, espuma rígida de poliuretano como isolante com 30 mm de espessura, para fazer a cobertura. Essas mesmas telhas serão usadas também na parede dos fundos do LEA.

A área de circulação comum ao primeiro e segundo andar não será climatizada. A plantas baixas do primeiro andar e segundo andares estão detalhadas no Anexo A.

4.2. Envelopamento da edificação

4.2.1. Paredes, Pisos, Tetos e Divisórias – Do Projeto Base

O *EnergyPlus* exige a informação das propriedades físicas dos materiais. Essas propriedades foram baseadas em informações de fornecedores, no caso dos vidros, por exemplo, e na biblioteca de matérias disponível no próprio programa que, inclusive, podem ser alteradas de acordo com a necessidade do usuário

Será utilizado bloco estrutural de argila menor nas paredes, onde forem utilizadas fachadas ventiladas. Esse bloco tem as seguintes medidas: $L=14\text{ cm}$, $H=19\text{ cm}$, $C=29\text{ cm}$. Nas paredes que não forem ventiladas e também, nas internas será utilizado o mesmo bloco estrutural, mas com $L=19\text{ cm}$. Os blocos serão cobertos por 3 cm de reboco na cor clara em ambos os lados. Internamente, se utilizará também de madeira oca como divisória.

Os materiais possuem grande influência no desempenho térmico e energético da edificação, portanto, deve-se levar em conta suas propriedades.

O Apêndice B destaca as propriedades dos materiais utilizados no projeto.

4.2.2. Janelas

O apêndice A mostra as propriedades dos vidros utilizados e, também, dos vidros que foram sugeridos como alteração de projeto. Na Tabela 4.2 tem-se a configuração das janelas. As esquadrias serão do tipo maxim-ar em alumínio na cor branca, alterando apenas nos tamanhos. As proteções serão de madeira de reflorestamento, em ripas de seção retangular (1x2”) na cor natural, aparafusadas em quadro de alumínio na cor branca, montadas na fachada Norte-Nordeste.

Tabela 4.2. Configuração de vidros de projeto

	Outside Layer	Layer 2	Layer 3
Janela Vidro Duplo	Eco Lite Verde 4 mm	Air 15 mm	Float Incolor 4 mm
Janela vidro simples	Eco Lite Verde 4 mm		
Cobertura de vidro	Cool Lite 114 PN 4 mm+PVB Incolor 0.38 mm+Float incolor 4 mm		
Fachada de vidro	Eco Lite Verde 4 mm		

4.3. Modelagem da edificação:

As variáveis que afetam as cargas de refrigeração e aquecimento são numerosos, e muitas vezes difíceis de definir com exatidão, pois podem variar muito em um período de 24 horas. Cargas de resfriamento e aquecimento resultam de processos de condução, convecção e radiação de calor, através do envelopamento da construção e de fontes internas de calor. Externamente são analisados: paredes, tetos, janelas, divisórias e pavimentos. Internamente tem-se: luzes, pessoas, aparelhos e equipamentos.

Não será objeto deste trabalho a certificação LEED, entretanto, utilizou-se alguns critérios de prédio verde na escolha de soluções para esse projeto.

4.3.1. Zona térmica

O *EnergyPlus* define como um volume de ar a uma temperatura uniforme [*EnergyPlus*,2009], assim as zonas térmica serão independentes. Neste trabalho a edificação foi dividida em zonas térmicas possibilitando identificar setores que demandarão mais ou menos energia.

Um melhor detalhamento das áreas e volumes climatizados e não climatizados pode ser visto na Tabela 4.3

Tabela 4.3. Detalhamento das Zonas Térmicas

Zona	Area [m ²]	Condicionada (S/N)	Volume [m ³]	Area de Paredes [m ²]	Area de Janelas [m ²]	Luzes [W/m ²]	Pessoas/m ²
TC1	57.6	Sim	138.3	63.1	11.5	13.9	3.8
TC2	72.8	Sim	400.9	73.6	14.4	24.0	2.4
TNC1	82.3	Não	372.4	25.9	13.8	10.9	
TC3	132.1	Sim	265.8	137.2	23.2	25.0	132.1
2C1	57.6	Sim	149.3	62.7	11.5	25.0	1.1
2C2	71.0	Sim	342.2	78.6	14.4	25.0	
2C3	41.5	Sim	134.7	42.8	13.0	25.0	
2NC1	52.3	Não	486.9	68.2	61.4	25.0	
Total	567.16		2290.5	552.0	163.2	21.7	5.8
Condicionada Total	432.5		1431.1	457.9	88.0	23.4	4.4
Não Condicionada	134.6		859.3	94.1	75.2	16.4	

O modelo construído é ilustrado na Figura 4.4

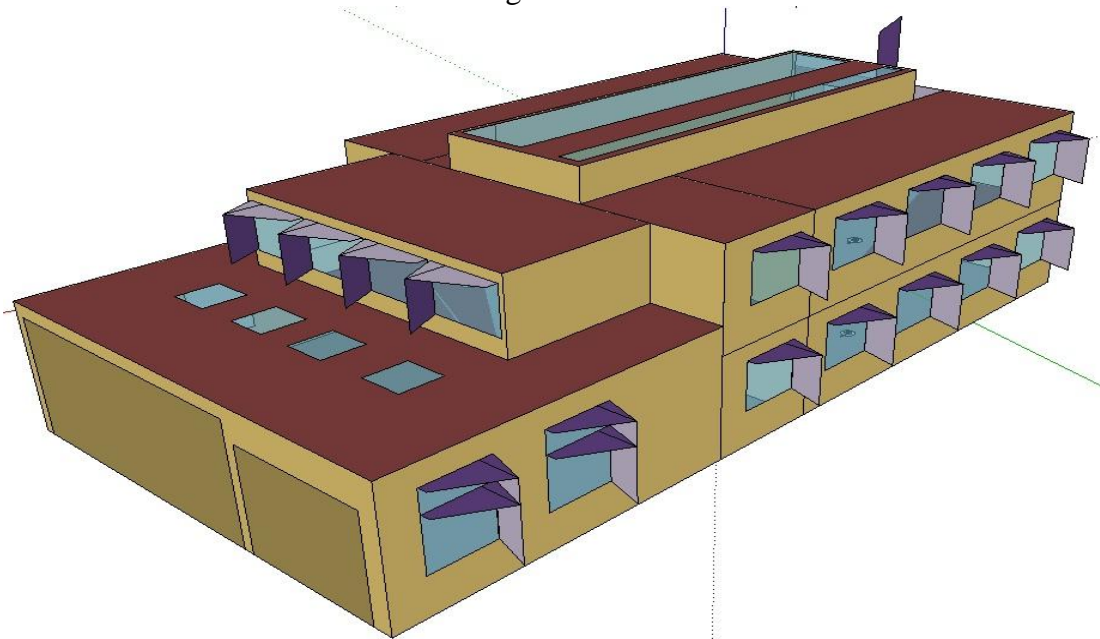


Figura 4.4. Modelo construído

A edificação de estudo foi dividida em oito zonas térmicas, que abrange as zonas climatizadas e não climatizadas. A área total construída será de 567.16 m² sendo que 432.52 m² serão climatizados e 134.64 m² serão não climatizados. Para área envidraçada tem-se 88.0 m² climatizados e 75.19 m² não climatizados.

As superfícies externas são denominadas *outdoors* e pisos em contato direto com o solo, paredes dividindo ambientes, em que ambos são climatizados, são definidos como adiabáticos.

4.3.2. Cargas Internas

Além da declaração do envelopamento da edificação, há também os ganhos em calor provenientes de pessoas, luzes e equipamentos. As pessoas liberam calor de acordo com sua geração interna, sendo proporcional à atividade realizada. A Tabela 4.4 demonstra a quantidade de pessoas, computadores, equipamentos e luzes que devem ser considerados no cálculo da potência do sistema de climatização a ser instalado.

4.3.3. Pessoas

Foi considerado como atividade realizada nas instalações a atividade de trabalho leve e sentado, fazendo com que os ocupantes dissipem 100W, sendo 65W na forma sensível e 35W na forma latente [Beyer, 2009].

A ocupação de cada zona térmica está descrita na Tabela 4.4. A simulação levou em conta a máxima ocupação dos ambientes.

4.3.4. Iluminação

Com base no projeto luminotécnico desenvolvido para o prédio, está previsto uma carga de 12311,1 W. Na tabela 4.4 está detalhado a demanda por cada zona .

Tabela 4.4. Detalhamento de pessoas, equipamentos, computadores e luzes

Zona	Pessoas (Quantidade)	Computadores [W]	Equipamentos[W]	Luzes[W]
TC1	15	1500	400	800.0
TC2	30	4500		1749.9
TNC1	0	0		899.9
TC3	1	150	1500	3302.5
2C1	20	3000		1440.0
2C2	24	4000		1774.3
2C3	8	1200		1036.3
2NC1	0	0		1308.3
Total	98	14350	1900	12311.1

4.3.5. Equipamentos

Serão constituídos, basicamente, por computadores e alguns equipamentos no LEA.

5. A SIMULAÇÃO

5.1. Arquivo climático a dias de projeto

Para determinar o consumo energético da edificação, se utilizará o arquivo climático de Porto Alegre, desenvolvido pela UFSC/LABEEEE). Os dias de projeto (*desing day*) são utilizados para dimensionar o sistema de ar condicionado

5.2. Horários

São definidos horários para períodos de ocupação, para períodos de dia, períodos da semana e mês, dia de verão, meia estação, inverno, resfriamento e aquecimento.

5.3. Simulação da edificação de projeto base

A simulação é realizada com os dados do projeto base, ou seja, a definição dos materiais das paredes, pisos, tetos, coberturas, vidros e cores são especificados no EnergyPlus conforme o projeto exige. Os resultados dessa etapa serão comparados com o restante das simulações.

5.3.1. Resultados para o projeto base.

A Figura 5.1 demonstra o consumo mensal de energia elétrica com destaque para o consumo total. Os resultados podem ser divididos da seguinte forma:

- 1- Ar condicionado = Resfriamento + aquecimento + ventilação
- 2- Edificação = Equipamentos + iluminação
- 3- Total = Edificação + ar condicionado

Nesse gráfico observa-se para o consumo total, linha verde, que entre os meses de abril e novembro o consumo fica em torno de 10.000 kW.h. O consumo da edificação fica em torno de 8000 kW.h. Mais adiante será realizada uma comparação entre os resultados do projeto base e final.

Na Figura 5.1 é detalhado o consumo mensal e na Figura 5.2 o consumo anual.

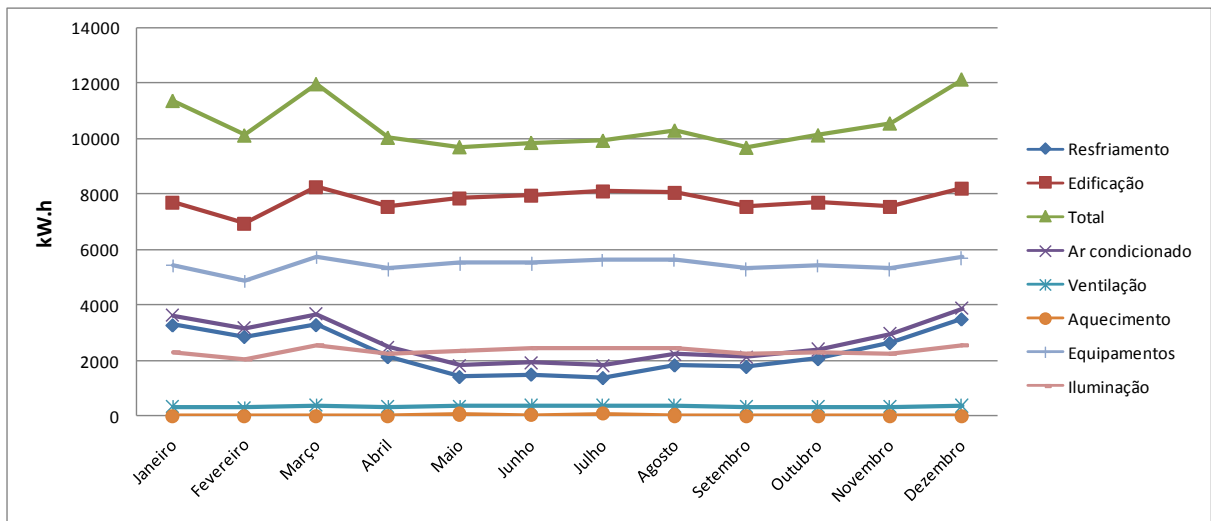


Figura 5.1 Consumo mensal de projeto em kW.h

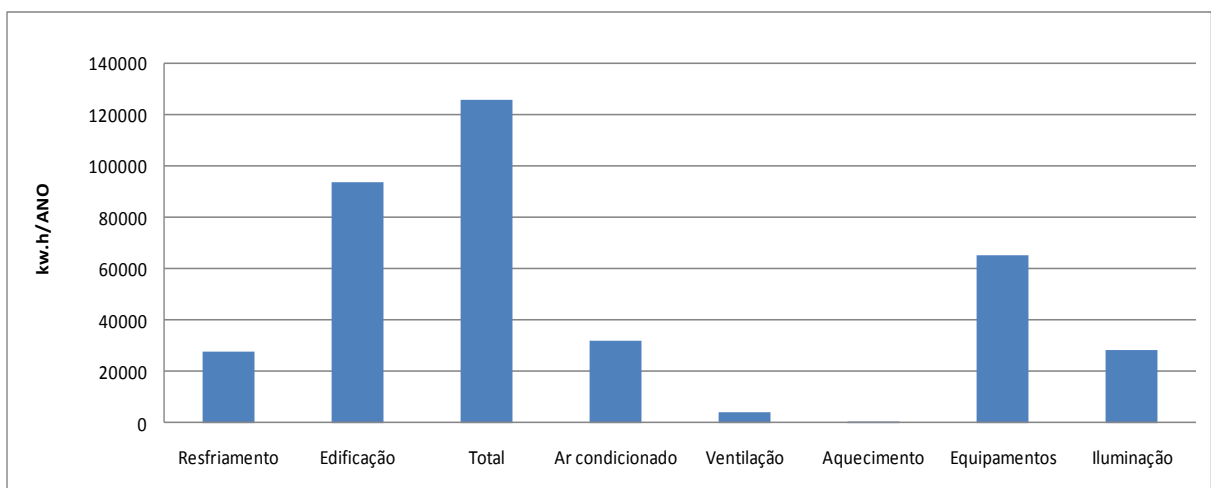


Figura 5.2 Consumo anual do projeto base em kW.h/ano

5.4. Simulação das alterações propostas

Visando a redução no consumo de energia elétrica pela edificação, através da eficiência energética, serão simuladas mudanças no envelopamento da edificação. Essas alterações abrangem a diminuição da potência no sistema de iluminação, a elevação do prédio para promover maior troca de ar por hora através do efeito chaminé que irá ocorrer no interior da edificação, substituição de vidros, aumento da espessura do poliuretano das telhas e do uso de iluminação natural.

As simulações tiveram como base o projeto original. Cada alteração foi realizada individualmente, no prédio base. As alterações foram realizadas separadamente a fim de se poder medir qual seria sua influência, no consumo de energia, separadamente.

Posteriormente, os resultados são analisados comparando-se todos os resultados obtidos de cada simulação com os valores do prédio base, a fim de verificar qual alteração iria ter maior influência no consumo de energia. A simulação geral consiste em aplicar todas as configurações, que favoreceram a redução de consumo do projeto.

5.4.1. Luzes

A Tabela 5.1 ilustra as mudanças no projeto luminotécnico com uma redução de 2214.2 W na potência instalada. Essa alteração proporcionou, considerando todos consumidores, uma redução de 0.58 % no consumo total em kW.h. Devido à baixa influência da redução da potência das lâmpadas no desempenho energético, a potência de iluminação não será alterada na simulação total. Irá manter-se o projeto base em relação às luzes.

Tabela 5.1. Alteração da iluminação

Zona	Redução na potência [W]
TC1	920
TC2	1750
TNC1	2250
TC3	400
2C1	1152
2C2	1419
2C3	829
2NC1	1047
Total	9767

5.4.2. Piso Ventilado

O objetivo dessa mudança é promover uma maior troca de ar por hora no interior do prédio com a elevação do piso nas zonas térmicas TC1, TC2 e TNC1. Na nova configuração o *outside layer* será a laje de concreto sendo considerado como *Wind exposed* e *outdoor* como condição de contorno. A elevação do prédio proporcionou uma redução de 3.34% no consumo geral em kW.h. O piso ventilado será considerado no projeto final.

5.4.3. Substituição de vidros

A Tabela 5.3 mostra a nova configuração das janelas. A alteração dos vidros resultou em redução de 0.89% no consumo geral em kW.h.

Tabela 5.3. Alteração na configuração do dos vidros

	Camada externa	Camada 1	Camada 2
Janela Vidro Duplo	Cool Lite 1114 PN 4mm	Air 15 mm	Float Incolor 4 mm
Janela vidro simples	Cool Lite 1114 PN 4mm		
Cobertura de vidro	Cool Lite 114 PN 4 mm+PVB Incolor 0.38 mm+Float incolor 4 mm		
Fachada de vidro	Cool Lite 1114 PN 4mm		

Devido à pequena contribuição, os vidros não serão considerados no projeto final.

5.4.4. Telhas isoladas

A alteração consiste em aumentar a espessura do poliuretano de 30 mm para 50 mm. Essa alteração não surtiu efeitos positivos. Teoricamente aumentando-se a espessura do poliuretano deveria haver uma redução no consumo energético da edificação. Entretanto, ocorreu um aumento no consumo de energia. Na prática, o uso de isolantes irá ajudar no inverno e atrapalhar no verão, pois tem-se que dissipar calor no verão. Deve-se levar em conta que à noite, no verão, a superfície perde calor se não for isolada e que será benéfico para o sistema de climatização no início do funcionamento pela manhã.

5.4.5. Uso da iluminação natural

Será realizada pela variação da potência de iluminação através de um sensor de iluminação colocado no ambiente. Essa modificação reduziu em 11.69% o consumo energético. Será considerada no projeto final.

6.0. RESULTADOS

A Figura 6.1 ilustra o consumo mensal de áreas diferentes da edificação destacando a redução no consumo total em aproximadamente 1800 kW.h se comparados com a Figura 5.1. Houve uma queda no consumo de energia em todos os consumidores considerados.

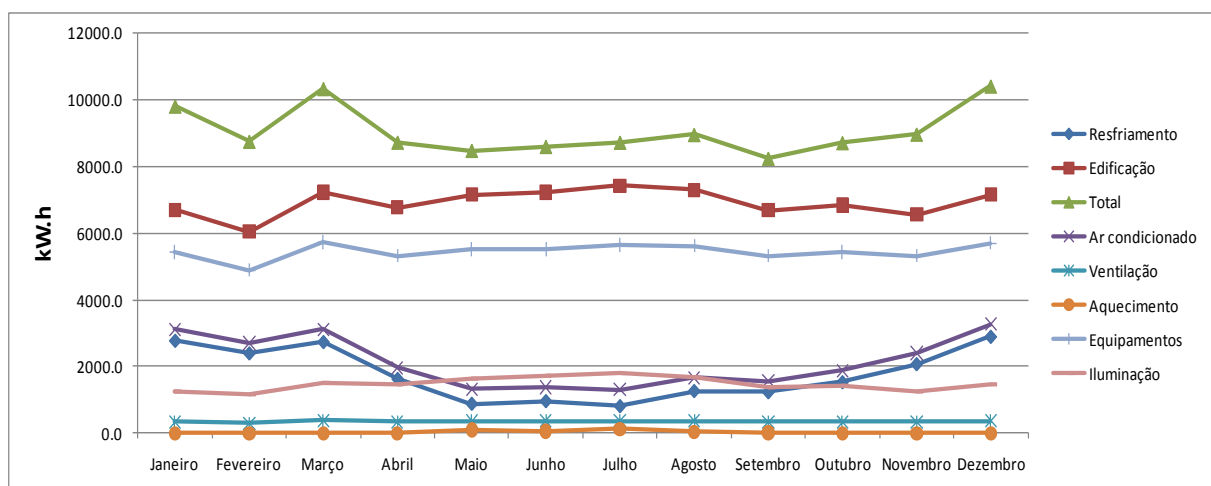


Figura 6.1. Consumo mensal devido a alterações

A Figura 6.2 demonstra o consumo anual do projeto final. No projeto final, foram alterados dois parâmetros que consistem em fazer uso da iluminação natural e a elevação de parte da edificação.

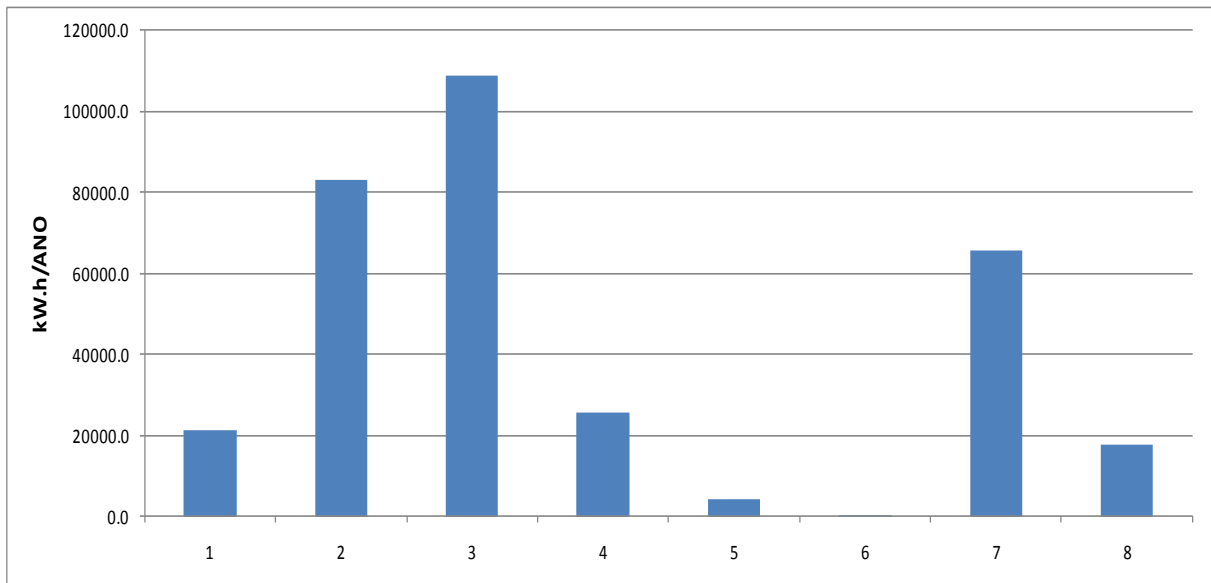


Figura 6.2. Consumo anual. Projeto final

Alterando-se o projeto base com as duas alterações até agora propostas, chega-se a uma redução de 13.59% no consumo energético da edificação, considerando todos os consumidores. A figura 6.3 faz um comparativo entre os projetos, mostrando uma significativa redução no consumo de energia considerando toda a edificação

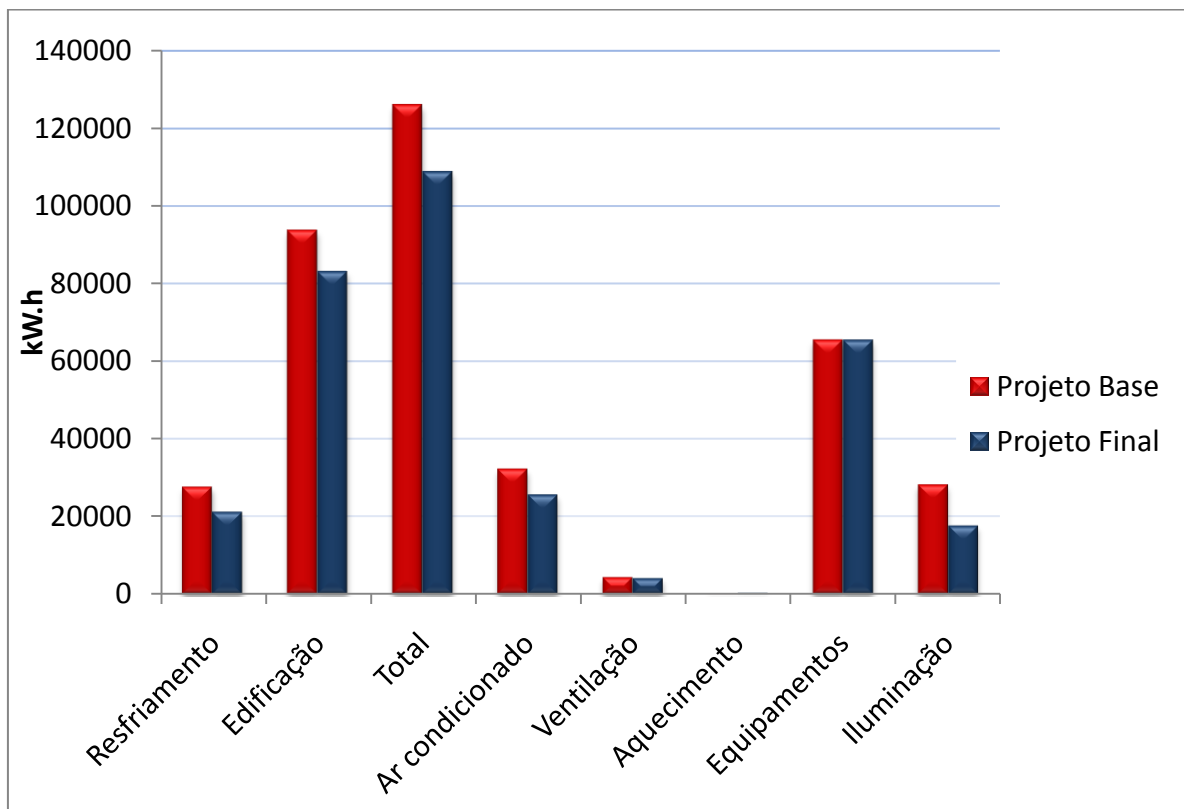


Figura 6.3. Comparação entre os projetos inicial e final

Na Tabela 6.1 demonstra-se o gasto de energia em Reais (R\$) do projeto base e das alterações propostas. Na última coluna está destacado o ganho em economia de energia. Os valores destacam o consumo anual da edificação e as reduções que cada alteração proporciona, em R\$/ano. Em relação ao projeto base, consegue-se uma economia de R\$ 5193.2 se consideradas as condições de projeto ótimo das duas alterações propostas

Tabela 6.1. Redução no consumo anual em R\$

Valor kW/h em 25/10/2009	Base	Luzes	Piso Ventilado	Vidros	Telhas	Iluminação natural	Iluminação + piso ventilado
R\$ 0.30	38221.5	38001.1	36945.5	37858.6	38364.6	33751.7	33027.7

A tarifa (R\$/kWh) foi tirada da home-page da CEEE [HTTP://ceee.com.br](http://ceee.com.br) está baseada na Resolução Homologatória ANEEL nº 895, de 20/10/2009 com aplicação em 25/10/2009, subgrupo B3-Demais Classes Poderes Públicos e alíquotas de 25%.

7. CONCLUSÕES

O foco principal deste trabalho foi avaliar a eficiência energética de um novo prédio que será construído na UFRGS. Foram analisados os resultados de seis alterações que poderiam ser favoráveis ao desempenho energético da edificação, entretanto, apenas cinco novas propostas foram favoráveis à economia de energia. Contudo, dessas cinco alterações, somente duas tiveram um desempenho expressivo. A elevação do prédio e a utilização de controles de iluminação apresentaram melhores desempenhos, no sentido de baixar o consumo de energia pelos vários sistemas utilizados na edificação.

Todas as simulações foram baseadas em resultados obtidos com o programa *EnergyPlus* e com a utilização de arquivos climáticos de Porto Alegre.

O consumo de energia elétrica está diretamente ligado ao uso do sistema de ar condicionado. As modificações visam melhorar a eficiência energética das edificações modificando materiais do envolvimento.

8. REFERÊNCIAS

<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>
<http://sketchup.google.com/> acessado em 18/01/2010
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm> acessado em 18/01/2010
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg_form.cfm acessado em 18/01/2010

9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Beyer, P.O.,2009. “Apostila de Aquecimento ambiental”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

Cebrace, 2010. Fabricante de Vidro Companhia Brasileira de Cristal, *Dados do Fabricante*.

Edmund C. Snodgrass, 2006. “Green Roof Plants, A Resource and Planting Guide”. Timber Press.

EnergyPlus, 2010. “EnergyPlus Input Output Reference The Encyclopedic to EnergyPlus Input and Output”, Version 5.0.0.031. Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA

EnergyPlus, 2010. “EnergyPlus Engineering Reference The Encyclopedic to EnergyPlus Input and Output”, Version 5.0.0.031. Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA

Frank P.Incropera, 2008. “Fundamentos de Transferência de calor e Massa”, Sexta Edição

Krebes, Carlos, 2010 Projeto arquitetônico do prédio do Núcleo de Excelência em Rede de Comunicação Industrial, Cenerg-UFRGS

Manual de Eficiência Energética, disponível em:
<http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=272>

Pauluzzi blocos cerâmicos. Acesso em 15/05/2010 no seguinte link:
<http://www.pauluzzi.com.br/>

Revista Técnica,2010, disponível em:
<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/144/fachadas-respirantes-fachadas-ventiladas-combinam-funcoes-esteticas-com-bom-128934-1.asp>

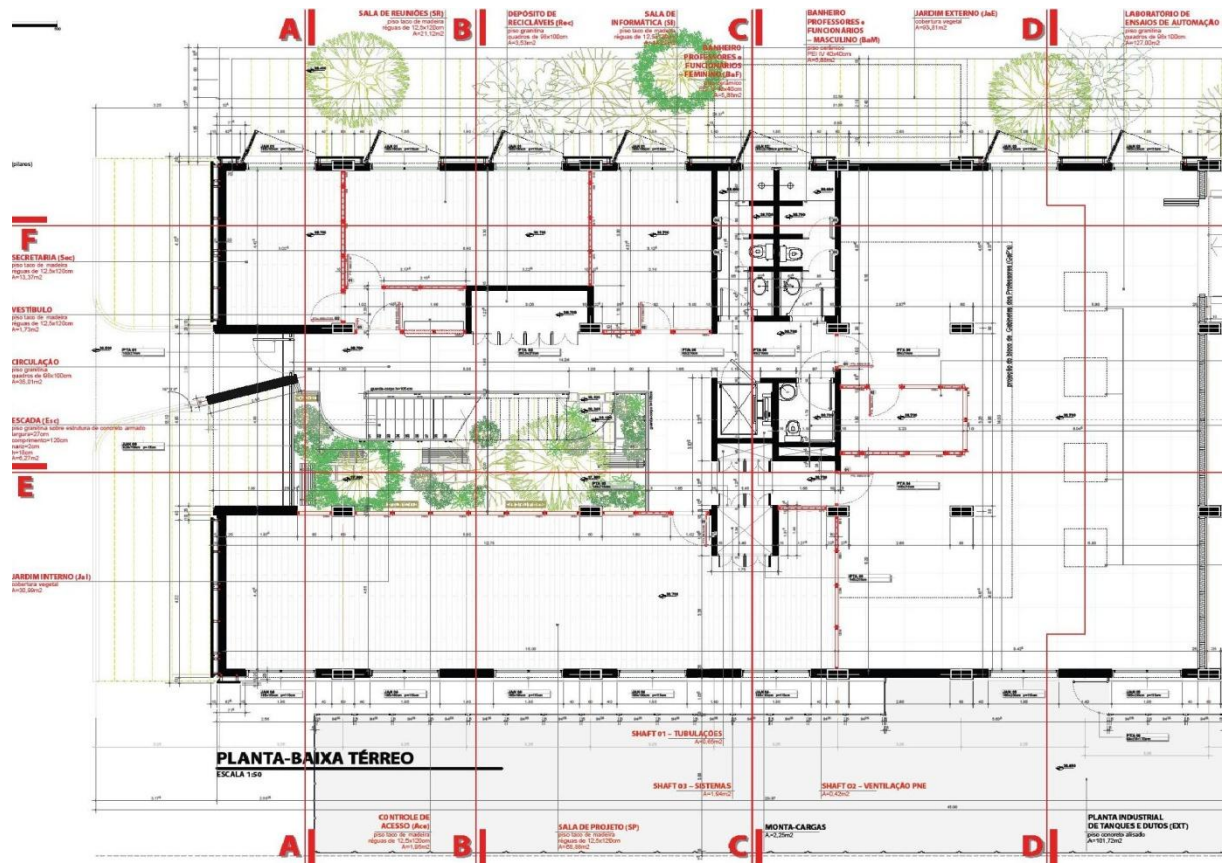
APÊNDICE A – PROPRIEDADES DOS VIDROS [FONTE: CEBRACE, 2010]

	Vidro 1	Vidro 2	Vidro 3	Vidro 4	Vidro 5
	Float Incolor 4 mm	Eco Lite Verde 4 mm	Cool Lite 1114 PN 4 mm	Cool Lite 114 PN 4 mm+PVB Incolor 0.38 mm+Float incolor 4 mm	Float verde escuro 4 mm
	I4 Incolor	EV4	114 PN4	Laminado	Esmerald 4 mm
Espessura L [m]	0.004	0.004	0	0.008	0.004
Transmitância solar τ_s	0.893	0.589	0.138	0.114	0.723
Refletividade solar ρ_s Exterior	0.081	0.086	0.28	0.281	0.068
Refletividade solar ρ_s Interior	0.081	0.118	0.361	0.315	0.068
Transmitância solar visível τ_v	0.828	0.356	0.132	0.076	0.437
Refletividade solar visível ρ_v Exterior	0.075	0.065	0.239	0.24	0.054
Refletividade solar visível ρ_v Interior	0.075	0.102	0.364	0.188	0.054
Transmitância infravermelho T_{iv}	0	0	0	0	0
Emissividade infravermelho ϵ Exterior	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Emissividade infravermelho ϵ Interior	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Condutividade K [W/m.k]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Fator solar	0.853	0.505	0.294	0.246	0.568
coeficiente de sombreamento	0.981	0.581	0.338	0.283	0.653
Transmissão térmica U W/m ² k	5.8	5.8	5.8	5.67	5.8

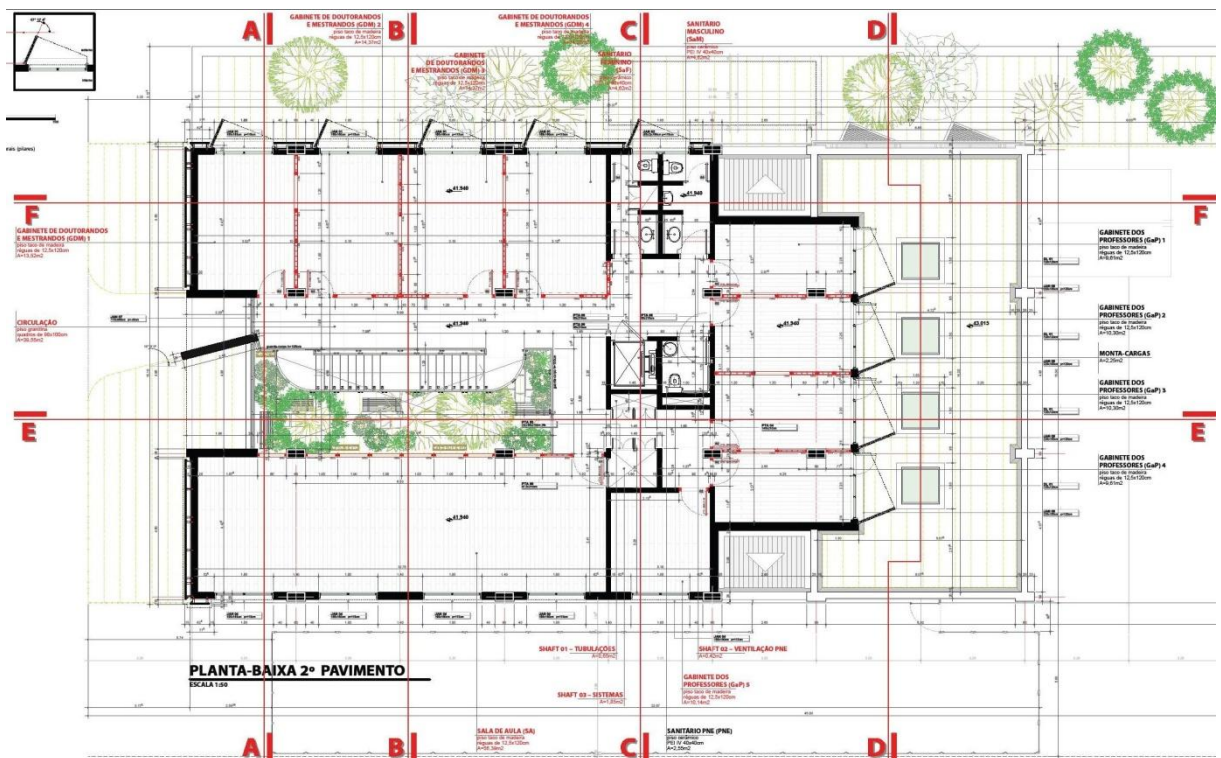
APÊNDICE B. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (BANCO DE DADOS DO ENERGY-PLUS)

Substância	Espessura	Condutividade	Densidade	Calor específico	Absortância Térmica	Absortância Solar	Absortância visível
	L[m]	K[W/m.k]	ρ [kg/m ³]	C[J/kg.k]	ϵ	α	
Terra	0.4	0.17	1014.2	830	0.9	0.7	0.7
Reboco na cor clara	0.03	0.82	1858.14	830	0.9	0.32	0.32
Poliuretano	0.03	0.02	32.03	1580	0.9	0.5	0.5
Alumínio	0.001	22.38	2770	890	0.9	0.15	0.15
Bloco 14 cm	0.14	1.3	842.2	880	0.9	0.7	0.7
Bloco 19 cm	0.19	1.3	764.16	880	0.9	0.7	0.7
Madeira Dura	0.01	0.15	720.83	1250	0.9	0.78	0.78
Concreto	0.1	1.95	2240	900	0.9	0.3	
G06 50 mm Wood	0.05	0.15	608	1630	0.9	0.6	
G02 16mm Plywood	0.015	0.12	544	1210	0.9	0.4	0.4
Porcelanato dos painéis	0.01	1.85	1920	1040	0.9	0.35	0.35
Piso cerâmico	0.01	1.8	1920	1050	0.9	0.4	0.4
Argamassa	0.01	0.8	800	830	0.9	0.7	0.7
F08 Metal surface	0.003	45.28	7824	500	0.9	0.62	0.62

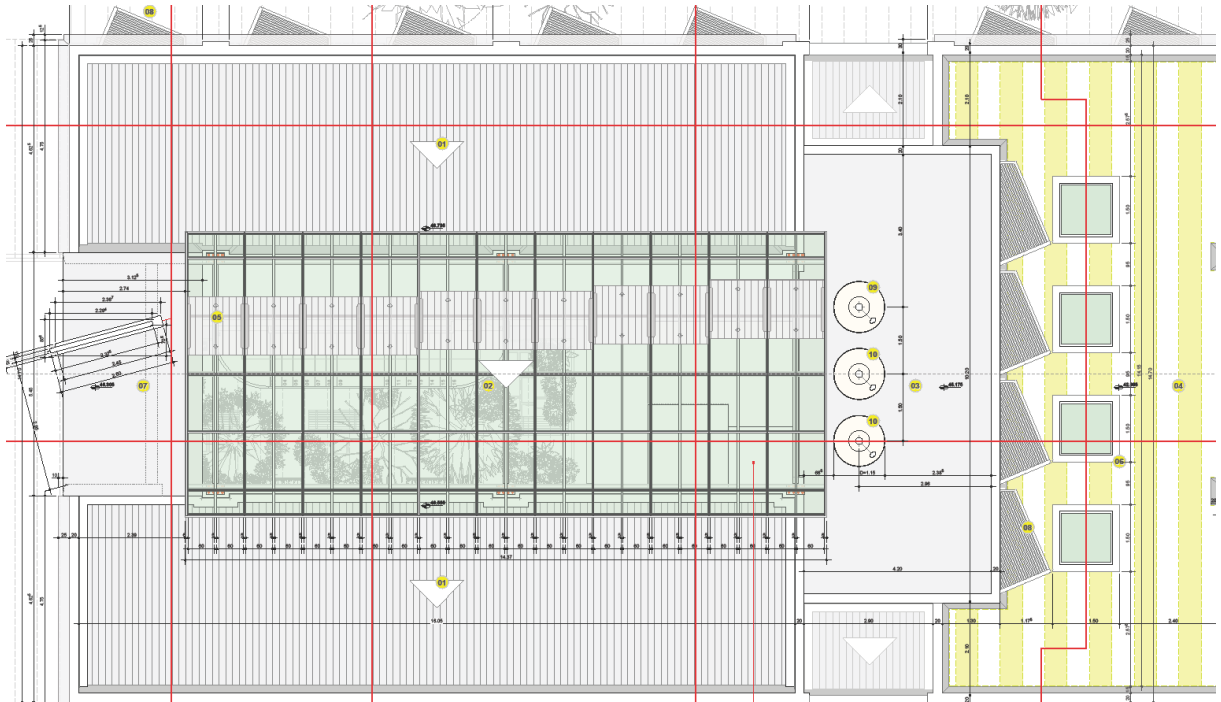
ANEXO A – PLANTA BAIXA 1º ANDAR [Krebs, 2010]



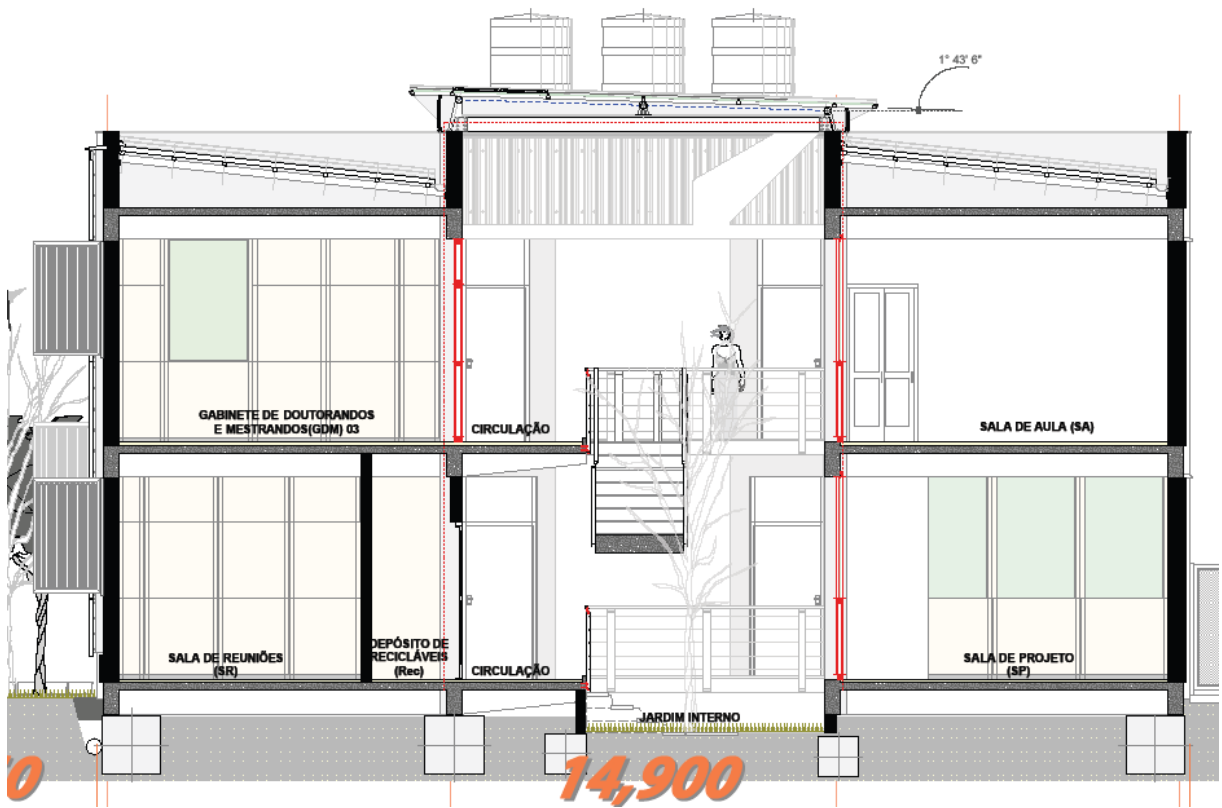
- PLANTA BAIXA 2º ANDAR [Krebs, 2010]



– PLANTA BAIXA COBERTURA [Krebes, 2010]



– CORTE BB [KREBES, 2010]



- CORTE FF [KREBES, 2010]

