

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA.

AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E PROPOSTA DE REMODELAÇÃO
CONSTRUTIVA DO PRÉDIO DO ICE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

MAURISH MELIÁN MORENO

Itajubá-MG

Agosto 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA.

MAURISH MELIÁN MORENO

AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E PROPOSTA DE REMODELAÇÃO
CONSTRUTIVA DO PRÉDIO DO ICE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Planejamento e Gestão de
Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Escobar Palácio.

Co-orientadora: Profa. Dra. Regina Mambeli Barros.

Itajubá-MG

Agosto 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA.

MAURISH MELIÁN MORENO

AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E PROPOSTA DE REMODELAÇÃO
CONSTRUTIVA DO PRÉDIO DO ICE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Carlos Escobar Palácio. (Orientador)
Profa. Dr. Regina Mambeli Barros. (Coorientadora)
Prof. Dr. José Joaquim Conceição Soares Santos.
Prof. Dr. Carlos Eymel Campos Rodríguez.
Prof. Dr. Arnaldo Martín Martínez Reyes.

Itajubá-MG

Agosto 2016

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio financeiro.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. José Carlos Escobar Palácio e a minha Coorientadora Profa. Dr. Mambeli Barros Lora pela ajuda.

Ao NEST todo pela ajuda incondicional de seus integrantes e pelo suporte técnico.

Agradeço em especial:

Prof. Dr. José Carlos Escobar Palácio.

Profa. Dra. Regina Mambeli Barros.

Prof. Dr. Vladimir Rafael Melián Cobas.

Prof. Dr. Arnaldo Martín Martínez Reyes.

Profa. Dra. Daniele Ornaghi Sant' Anna.

Doutorando Eric Alberto Ocampo Battle.

RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo visando a diminuição de consumo energético no prédio do Instituto de Ciências Exatas (ICE) localizado no campus da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), mediante um projeto de reforma construtiva usando soluções passivas de eficiência energética.

Para conhecer as condições atuais do consumo energético deste, foi realizada uma avaliação energética integral. Para a parte interior se utilizou um modelo de gestão energética baseado na norma ABNT-NBR: ISO 50001/2011 que deu como resultado a existência de um potencial de 12 % no uso anual da energia somente com a adoção de boas práticas. Para a avaliação exterior foi utilizada a metodologia brasileira de Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e foi obtido como resultado o Nível C, sendo o Nível A o grau máximo obtido nesta categoria. A partir destes resultados foi elaborado um projeto com soluções passivas de eficiência energética para melhorar as condições térmicas do prédio baseado na proteção solar e na melhoria da ventilação natural interior. O projeto considera insolação durante todo o ano nas fachadas usando a carta solar de Itajubá elaborada neste próprio trabalho. As modificações no projeto foram: o aumento da área de janelas com o fim de incrementar a ventilação no interior, a modificação da organização interior dos espaços para criar o contato direto de todos estes com o exterior e a colocação de proteção solar (*Brise soleil*) para bloquear a incidência direta dos raios do sol nas janelas.

As modificações propostas foram comparadas com o prédio na condição atual avaliando a carga térmica mediante a metodologia *Radiant Time Series RTS* da *Sociedade Americana de engenheiros em refrigeração, calefação e ar condicionado Inc. ASHRAE®*. A ventilação natural também foi avaliada mediante a norma BS 5925 e foi novamente realizada a avaliação da eficiência energética da envoltória com o RTQ-C, mas, com as modificações propostas. Todos os resultados foram positivos obtendo uma diminuição de 30 % da carga térmica, um aumento de até 92 % no fluxo de ar no interior do prédio e foi alcançado o Nível A na classificação de eficiência energética demonstrando a validade das soluções.

Foi feita uma avaliação econômica em base a dados reais de uma reforma recente do prédio estudado obtendo como resultado um tempo de retorno do investimento no uso de *Brise soleil* e janelas interiores em um horizonte máximo de 5 anos. Para as outras modificações propostas, é preciso esperar uma reforma total e inserir dentro desta as soluções passivas.

ABSTRACT

This work consists in a study aiming to reduce energy consumption in the Institute of Exact Sciences (ICE) building, located on the campus of the Federal University of Itajubá (UNIFEI), by a constructive reform project using passive solutions for energy efficiency.

To know its current conditions of the energy consumption, it was carried out a comprehensive energy assessment. The research utilized for internal spaces an energy management model based on standard ABNT-NBR: ISO 50001/2011, which resulted in the existence of a 12% potential in the energy annual use only with the adoption of good practices. External evaluation utilized the brazilian method of Energy Technicians Quality Requirements of in Commercial Buildings Efficiency Level, Service and Public (RTQ-C) and was obtained as a result of the C Level, as Level A as a maximum level in this classification type. From these results, it was designed a passive solutions project for energy efficiency to improve the building thermal conditions based on sun protection and indoor natural ventilation improvement. The project considered the annual sunstroke (insolation) on the facades using Itajubá solar chart drafted this own work. The project changes proposals were: increment windows area in order to rise internal ventilation, internal layout modification to create direct external contact and the sun protection placement (*Brise soleil*) to block direct incidence of sunlight on the windows. As modificações propostas foram comparadas com o prédio na condição atual avaliando a carga térmica mediante a metodologia Radiant Time Series RTS da Sociedade Americana de engenheiros em refrigeração, calefação e ar condicionado Inc. ASHRAE®.

Natural ventilation was evaluated by the BS 5925 standard and the evaluation of the energy efficiency of envelopment and remade with RTQ-C but with the proposed changes. All results were positive obtaining a 30% reduction of the thermal load, an increase of 92% in the building interior air flow and has reached energy efficiency rate level A validating proposed solutions.

An economic evaluation based on real data from a recent renovation of the studied building results in a payback time of investment in the shadow devices (*brise-soleil*) and interior windows on five years' horizon. Other proposals demand to expect a total reform to insert these passive solutions.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Colocação do problema.....	1
1.2 Objetivo geral.....	5
1.3 Objetivos específicos	5
1.4 Abrangência da dissertação.....	6
1.5 Estrutura da dissertação.	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Eficiência energética no mundo.....	8
2.1.1 Norma internacional de Eficiência Energética ISO 50001.....	9
2.1.2 RTQ-C Requisitos técnicos da qualidade para o Nível de Eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.	13
2.1.3 Eficiência energética em prédios no mundo.....	17
2.1.4 Análise da eficiência energética em escolas.....	18
2.2 Eficiência energética no Brasil	23
2.2.1 Eficiência energética em edificações no brasil.....	24
2.3 Soluções passivas de eficiência energética.....	24
2.3.1 Elementos de sombreamento (<i>Brise soleil</i>).	24
2.3.2 Uso dos pátios interiores	28
2.3.3 Ventilação natural.....	32
3 CARACTERIZAÇÃO DO PRÉDIO.....	40
3.1 Caracterização geral.....	40
3.2 Características específicas	43
3.2.1 Envoltória	43

Áreas.....	46
Blocos.....	47
3.3 Determinação da eficiência energética da envoltória aplicando a metodologia do RTQ-C.....	54
4 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO MODELO DE GESTÃO ENERGÉTICA	63
4.1 Aplicação do Modelo de gestão energética	63
4.1.1 Adaptação do modelo.....	64
4.1.2 Implementação do modelo de gestão energética para o prédio do ICE na Universidade Federal de Itajubá.....	67
5 SOLUÇÕES PROPOSTAS.....	86
5.1 Projeto da proteção solar.....	86
5.2 Modificação interna dos espaços.....	91
5.3 Soluções externas (modificação da fachada).....	84
5.4 Comprovação das modificações	87
6 CONCLUSÕES, APORTES E TRABALHOS FUTUROS.....	101
Referências Bibliográficas.....	103
ANEXOS.....	109
Anexo 1-Cálculo da transmitância térmica da parede e da cobertura (teto) segundo NBR 15220.....	109
Anexo 2-Metodologia de cálculo para a ventilação natural segundo a norma internacional BS 5925:1991.....	114
Anexo 3-Metodologia de ASHRAE para o cálculo da carga térmica.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Concentração de CO ₂ na atmosfera em Partes por milhão (ppm).....	2
Figura 1.2-Países com programas e leis de eficiência energética (objetivos).....	3
Figura 1.3-Consumo de energia elétrica por setor no Brasil 1970-2013.....	4
Figura 1.4-Consumo energético por fonte de energia em 3 setores diferentes.....	4
Figura 2.1 Modelo de sistema de gestão da energia para a ISO 50001.....	10
Figura 2.2- Valores de U antes e depois da reforma.	21
Figura 2.3-Diferentes proteções solares.	28
Figura 2.4-Diferentes modelos de pátios pesquisados.	29
Figura 2.5-comportamento do fluxo do ar nos diferentes modelos de patios testados.....	30
Figura 2.6- Os 6 modelos de janelas de a até f estudados pelos autores (<i>op. cit.</i>).....	33
Figura 3.1-Localização geral do prédio.....	40
Figura 3.2-Andar térreo.....	41
Figura 3.3- Primer andar.....	42
Figura 3.4-Zonas de pressão causadas pelo vento.....	45
Figura 3.5 principais tipos de ventilação.....	46
Figura 3.6 Organização dos blocos.	47
Figura 3.7-Distribuição de espaços atualmente no bloco 04, andar 01.....	49
Figura 3.8-Distribuição de espaços atualmente no bloco 07-A, andar 01.....	50
Figura 3.9- Corte demonstrativo da ventilação atualmente no bloco 04, andar 01.....	50
Figura 3.10-Distribuição de espaços antes da modificação no bloco 01, andar 01.....	51
Figura 3.11 Distribuição de espaços antes da modificação no bloco 02, andar 01.....	51
Figura 3.12- Corte demonstrativo da ventilação atual.....	52
Figura 3.13-Ângulo de sombreamento vertical.....	58
Figura 3.14-Ângulo de sombreamento horizontal.....	59
Figura 4.1-Diagrama simplificado da gestão energética para instituições de educação superior “MGEEn-IES”.....	63
Figura 4.2-Fluxograma para aplicação do modelo de gestão energética.....	65

Figura 4.3-Consumo de energia do prédio no período estudado.....	69
Figura 4.4-Fatores que incidem no consumo de energia no prédio.....	70
Figura 4.4-Consumo de energia vs temperatura média diária.....	70
Figura 4.5-Diagrama de Pareto para consumo por tipo de espaço.....	74
Figura 4.6-Diagrama de Pareto para consumo por tipo de equipamento.....	75
Figura 4.7-Fator de temperatura média vs temperatura.....	78
Figura 4.8-Consumo vs AUD(Fc)(Ft).....	79
Figura 4.9-Consumo vs AUD(Fc)(Ft).....	80
Figura 4.10-Consumo vs AUD(Fc)(Ft).....	82
Figura 4.11-Índice de consumo vs $AUDEq$	83
Figura 4.12-Tendência do consumo energético no período avaliado.....	84
Figura 5.1-Carta solar para Itajubá.....	87
Figura 5.2-Transferidor.....	88
Figura 5.3-Resultado gráfico do uso da carta solar.....	89
Figura 5.4-Corte representativo do projeto do <i>Brise soleil</i> horizontal.....	91
Figura 5.5-Distribuição dos espaços após a modificação para os blocos 04 e 07.....	92
Figura 5.6 Corte demonstrativo da ventilação após a modificação nos blocos 04 e 07-A.....	92
Figura 5.7-Distribuição de espaços após a modificação no bloco 01, andar 01.....	93
Figura 5.8- Proposta de distribuição dos blocos de professores com 6 salas.....	93
Figura 5.9- Proposta de distribuição dos blocos de professores com 8 salas.....	93
Figura 5.10 Corte demonstrativo da ventilação após a modificação nos blocos 04 e 07-A.....	93
Figura 5.11-Andar superior do prédio com todas as alterações feitas.....	95
Figura 5.12-Comparação da ventilação com a situação atual e com as alterações propostas.....	83
Figura 5.13- Elevação NE antes e depois com a proposta.....	85
Figura 5.14- Elevação NO antes e depois com a proposta.....	85
Figura 5.15- Elevação SO antes e depois com a proposta.....	86
Figura 5.16- Elevação SE antes e depois com a proposta.....	86

Figura 5.17-Comportamento da carga termica nas modelações para o inverno.....	89
Figura 5.18 Comportamento da carga termica nas modelações para om verão.	92
Figura 5.19-Área do prédio remodelada.....	97
Figura 0.1-Composição da parede (medidas em mm).....	109
Figura 0.2-Representação gráfica de A_1 , A_2 , R_1 , e R_2	110
Figura 0.3-Representação gráfica de A_a e A_b ,	111
Figura 0.4-Representação gráfica de R_a , e R_b	111
Figura 0.5-Representação gráfica dos diferentes ângulos precisados	121

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1-Novas tecnologias usadas nos prédios reequipados para a diminuição do consumo energético.	20
Tabela 3.1-Área por tipo de espaço	42
Tabela 3.2-Conductividade térmica de alguns materiais conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2003).....	44
Tabela 3.3-Área de janelas por tipo de espaço	45
Tabela 3.4-Dados gerais do prédio	54
Tabela 3.5-Valores limites dos pré-requisitos para cada Limite.	55
Tabela 3.6-Valores para achar $IC_{máxD}$	60
Tabela 3.7-Valores para achar IC_{min}	60
Tabela 3.8-Cálculo dos limites de eficiência.....	61
Tabela 3.9-Valores finais do cálculo.	61
Tabela 4.2-Tipo de espaço e área que ocupa dentro do prédio.....	71
Tabela 4.3-Uso dos diferentes tipos de espaços e grupo ao que pertence.	72
Tabela 4.4-Equipamentos mais consumidores de energia.....	72
Tabela 4.5-Tipos de equipamentos seu grupo e uso.....	73
Tabela 4.6-Carga total instalada por grupo de áreas no prédio.	74
Tabela 4.7-Potência total instalada dos tipos de equipamento.	75
Tabela 5.1-Angulos de proteção para as fachadas do prédio.	90
Tabela 5.2-Principais alterações feitas no prédio	94
Tabela 5.3 Dados térmicos da modelagem, prédio atual vs proposta de modificado em inverno.....	88
Tabela 5.4-Dados térmicos da modelagem, prédio atual vs proposta de modificação em verão.	92
Tabela 5.5comparação dos fatores antes e depois	94
Tabela 5.6 Níveis de eficiência da RTQ-C.....	95
Tabela 5.7-Diferentes materiais e seus custos na reforma do ICE.	96
Tabela 5.8-Valor médio da energia por dia.	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **Simbologia para o método de cálculo da transmitância térmica de elementos e componentes de edificações: ABNT NBR 15220-2003.**

A = Área (m^2)

R = Resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

U = Transmitância térmica de um componente ($W/m^2.K$)

CT = Capacidade térmica de um componente ($kJ/m^2.K$)

φ = Atraso térmico de um componente horas

FS_o = Fator solar de elementos opacos

FS_t = Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos

CS = Coeficiente de sombreamento

C = Calor específico ($kJ/kg.K$)

e = Espessura de uma camada m

λ = Condutividade térmica do material ($W/m.K$)

ρ = Densidade de massa aparente do material kg/m^3

ε = Emissividade hemisférica total

- Subscrito

Ar = Referente a uma câmara de ar

n = Número total de seções ou camadas (a, b, c, ..., n-1, n.) de um elemento ou componente

s = Superfície

e = Exterior da edificação

i = Interior da edificação

t = Total, superfície a superfície

T = Total, ambiente a ambiente

- **Simbologia para o cálculo segundo a norma inglesa BS 5925:1991.**

u = Velocidade do vento (m/s)

u_m = Velocidade média do vento (m/s)

K = Constante que depende das características do terreno

Z = Altura (m)

a = Constante que depende das características do terreno

Q_w = Taxa do fluxo de ar (m^3/s)

C_d = Coeficiente de descarga para uma abertura

A_w = Área efetiva equivalente das janelas (m^2)

ΔC_p = Coeficiente de pressão das paredes

A_1, A_2, A_3, A_4 = Área das janelas segundo a posição (m^2)

Q = Volume da vazão de ar (m^3/s)

u_r = Velocidade do vento de referência (m/s)

- **Simbologia para o cálculo da carga térmica segundo a metodologia de ASHRAE.**

q_{el} =Ganho de calor (W)

W =Potência total da luz (W)

F_{ul} =Fator de uso da iluminação

F_{sa} =Fator de consumo especial da iluminação.

$Q_{c,n}$ = Porção convectiva (W)

cf =Fração convectiva

$Q_{r,n}$ = Porção radiante da carga de refrigeração (W).

r_n = Fração radiante segundo a hora na série radiante

rf = Fração radiante

q_{n-1} = Ganho de calor segundo a hora anterior.

Q_{light} = Carga de refrigeração da iluminação

β =altitude solar

L =latitude

δ =declinação solar

H =ângulo horário

n =número de dias desde o primeiro de janeiro

AST =tempo solar aparente

ET =equação do tempo (em minutos)

LON =longitude

LSM =meridiano padrão local

LST =hora local real

T =tempo médio

TZ =fuso horário

LST : Isto é a hora real do lugar calculado, mas, considerando que, se o horário de verão está em vigência tem que eliminá-lo

DST =horário de verão

ϕ =Azimute solar

γ = Azimute solar da superfície

ψ = Azimute da superfície da parede calculada

Θ = Ângulo de incidência dos raios do sol

Σ =ângulo de inclinação da parede

E_b = Irradiância dum raio normal (medido perpendicular aos raios do sol) (W/m^2)

E_d = Irradiância difusa horizontal (medida em uma superfície horizontal) (W/m^2)

E_0 = Irradiância extraterrestre normal

τ_b e τ_d = profundidade ótica direta e difusa

m = massa relativa do ar

ab e ad = expoentes da massa de ar direta e difusa

E_t = Irradiância total de céu limpo (W/m^2)

$E_{t,b}$ = Componente direto do raio (W/m^2)

$E_{t,d}$ = Componente difuso do raio (W/m^2)

$E_{t,r}$ = Componente refletido pelo chão (W/m^2)

Y = relação céu e irradiância difusa, em uma superfície vertical.

ρ_g = Refletância do chão

α = Absorbância da superfície por radiação solar

h_0 = Coeficiente de transferência de radiação e convecção por onda larga para outras superfícies (W/m^2)

t_0 = Temperatura exterior ($^{\circ}C$)

\mathcal{E} = Emitância hemisférica da superfície

ΔR = Diferença entre radiação de onda longa do céu e o entorno incidente em uma superfície e a radiação emitida por um corpo escuro na temperatura do ar exterior (W/m^2)

$q_{i,\theta-n}$ = entrada de calor por condução pela superfície condutora n horas depois (W)

U = coeficiente de transferência de calor global para a superfície ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)

A = área da superfície, (m^2)

$t_{e,\theta-n}$ = temperatura sol-ar n horas depois, ($^{\circ}\text{C}$)

t_{rc} = temperatura do ar desejada dentro do espaço ($^{\circ}\text{C}$)

q_{θ} = ganância de calor por condução das superfícies em uma hora determinada (W).

$q_{i,\theta}$ = contribuição de calor pela hora atual (W).

$q_{i,\theta-1}$ = contribuição de calor n

c_0, c_1, \dots = fator tempo de condução

$Q_{r,\theta}$ = carga de refrigeração radiante Q_r para a hora atual θ (W)

$q_{r,\theta}$ = ganho de calor radiante para a hora atual (W)

$q_{r,\theta-n}$ = ganho de calor radiante n nas últimas horas

r_0, r_1, r_2, \dots = radiant time factors (tabela 19 ou 20, segundo o caso)

A = área da janela (m^2)

$SHGC(\theta)$ = coeficiente de ganho de calor solar em função do ângulo incidente θ .

$IAC(\theta, \Omega)$ = coeficiente de atenuação solar interior para o coeficiente de ganho solar direto. O valor dele quando não tem proteção nenhuma é =1.

$E_{t,b}, E_{t,d}, E_{t,r}$ = raio de sol direto, iluminação difusa e ganho refletido pelo chão.

$(SHGC)_D$ = coeficiente de ganho de calor difuso.

IAC_D = coeficiente de atenuação solar para o coeficiente de ganho de calor difuso. O valor deste é =1 se não tem proteção solar nenhuma.

U = U total incluindo marco e orientação ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).

T_{in} = temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$).

T_{out} = temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$).

Q =ganho de calor total na janela (W/m^2).

- **Simbologia para a aplicação do RTQ-C para envoltória.**

AHS = angulo Horizontal de Sombreamento

AVS =angulo Vertical de Sombreamento

A_{env} = área da envoltória (m^2)

A_{pcob} =Área de projeção da cobertura (m^2)

A_{pe} = Área de projeção do edifício (m^2)

AU =Área útil (m^2)

A_{tot} = Área Total Construída (m^2)

FA = Fator Altura

FF = Fator de Forma

FS = Fator Solar

IC_{env} = Indicador de Consumo

U_{cob} = Transmitância Térmica da Cobertura ($W/(m^2K)$)

U_{par} = Transmitância Térmica das Paredes ($W/(m^2K)$)

V_{tot} = Volume Total da Edificação (m^3)

- **Siglas.**

GEE Gases de Efeito Estufa.

ISO Organização Internacional de Normalização.

GLP Gás Liquefeito de Petróleo.

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

GT-Edificações Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País

RTQ-C	Requerimentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
ICE	Instituto de Ciências Exatas.
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá.
IES	Instituto de Educação Superior
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
NBR	Norma Brasileira.
BS	Norma Britânica
BSI	Instituto Britânico de Normalização
ASHRAE	Sociedade Americana de engenheiros em refrigeração, calefação e ar condicionado.
OPEC	Países Exportadores de Petróleo
EUA	Estados Unidos de América
UK	Reino Unido
EU	União Europeia
SGen	Sistema de Gestão Energética
IDEn	Indicador de Desempenho Energético
PFVA	Planificar-Fazer-Verificar-Atuar
AHS	Angulo Horizontal de Sombreamento
AVS	Angulo Vertical de Sombreamento
FA	Fator Altura
FF	Fator de Forma

FS	Fator Solar
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
LEED	Liderança em Energia e Projeto Ambiental
USGBC	U.S. Green Building Council
KPS	Estratégias Chave de Desempenho
BMS	Sistema de Gestão Informático
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
EE	Eficiência Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
ISM	Método de Simulação Integrada
AM	Antes Meridiano
PM	Passado Meridiano
CVS	Central Ventilation Shaft
ACH	Taxa de Troca de Ar por Hora
PMV	Voto Meio Prognosticado
ACS	Padrão Adaptativo de Conforto
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional
LCS	Linha de Controle Superior
LCI	Linha de Controle Inferior
AUD	Área Utilizada por Dia
CEEMA	Centro de Estudos de Energia e Meio Ambiente

CUSUM	Sumas Acumulativas
NE	Nordeste
NO	Noroeste
SO	Sudoeste
SE	Sudeste
RTS	Radiant Time Series
WWR	Relação de Janela com respeito às Paredes
DCF	Diretoria de Contabilidade e Finanças

1 INTRODUÇÃO

Os problemas atuais no mundo são principalmente 2 (dois): o esgotamento das fontes finitas de energia e a contaminação atmosférica; as duas são consequência da atividade do homem na natureza. Desta forma, a racionalização no uso dos recursos energéticos finitos é o caminho para seguir no presente e futuro. As construções sustentáveis são chaves neste discurso. Os prédios são parte importante da vida do homem e, portanto, medidas de eficiência energética nas espaços construídos, equipamentos e configuração formal dos edifícios são fundamentais para o controle do consumo. O modo mais econômico para o uso adequado da energia nos prédios é criar nele a capacidade de aproveitar no máximo os recursos da natureza, principalmente no caso da iluminação e ambientação dos espaços interiores. Comumente a luz e a temperatura nos espaços de trabalho são servidas por equipamentos elétricos que são as maiores fontes de consumo de energia no prédio. Mas o consumo de energia nos prédios, especificamente a elétrica, apresenta tendência ao aumento devido as novas tecnologias e comodidades. O aumento da qualidade de vida está atrelado à aquisição de equipamentos que consomem energia. Este efeito é evidenciado nas residências, nos edifícios públicos e de oficina onde os computadores, impressoras multiusos, equipamentos de ventilação, ar condicionado, aquecedores e climatizadores, entre outros, vão abarrotando os espaços de trabalho e estudo. O setor residencial e não residencial consumiu o 35% da energia total final em 2011 seguido pelo setor industrial com 33% e transporte e agricultura com 29% e 3% respectivamente. O consumo de energia elétrica nos prédios tem aumentado num 3% anual desde 1990 (COUNCIL, 2013). Entretanto, o crescimento do consumo aumenta as possibilidades de economizar energia. Cada ano os diferentes países e organizações internacionais tomam medidas para a eficiência energética em prédios.

1.1 Colocação do problema

Após a crise mundial do petróleo na década dos 70 concluiu-se que o desenvolvimento dos países não deveria estar baseada única e exclusivamente com fontes de energia a partir de combustíveis fósseis e que deveria haver capacitação para uma independência energética e valorização das fontes renováveis de energia. Desde as primeiras tentativas de geração de energia na Revolução Industrial até os dias atuais foram emanados à atmosfera quantidades enormes de gases contaminantes que aceleraram a intensidade do denominado *efeito estufa* (GEE). Na Figura 1.1 observa-se que, desde o ano 1960 até o 2000 (40 anos) foi acumulado na

atmosfera mais CO₂ que em 400 000 anos antes do presente “*before present (b.p.)*”(CERLING e DEARING, 2005).

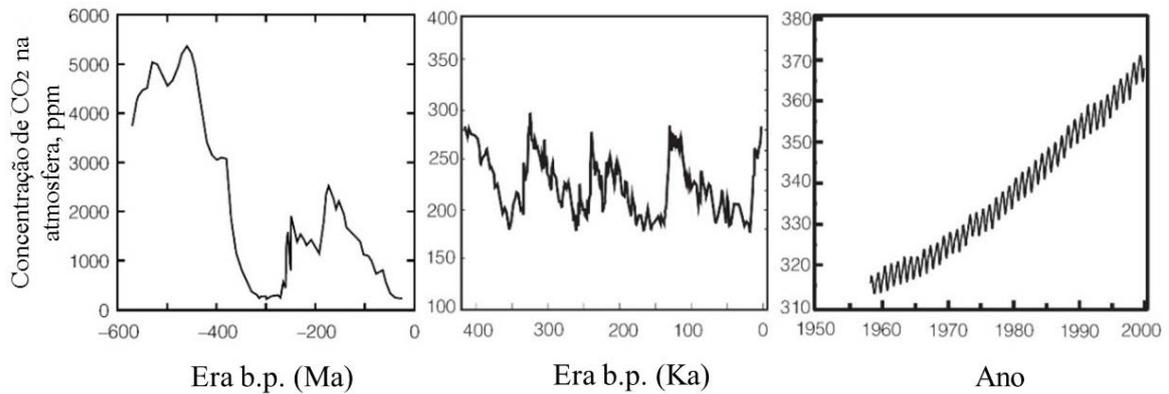


Figura 1.1 Concentração de CO₂ na atmosfera em Partes por milhão (ppm).

Fonte: Cerling e Dearing (2005)

No ano de 2008 em que o 86 % da energia era produzida por meio da queima de combustíveis fósseis foi emitido à atmosfera aproximadamente 30 000 000 000 ton/ano de GEE (*tCO₂eq*) à atmosfera (CRAWFORD, 2011) (OYARZO e PEUPORTIER, 2014). Este fato, somado ao esgotamento real dos recursos finitos das fontes fósseis nas quais estão baseadas a maior parte da produção mundial de energia provocou a tomada de medidas para propiciar um consumo mais racional em todos os setores possíveis da economia. Devido ao fato de que vários países (grafados em cor azul na Figura 1.2) possuem instituições ao nível de agência (nacional, regional e local) e/ou ministério e/ou departamento com relação à temática eficiência energética, existem programas que abrangem objetivos quantitativos e leis com regulações com diferentes áreas de ação.

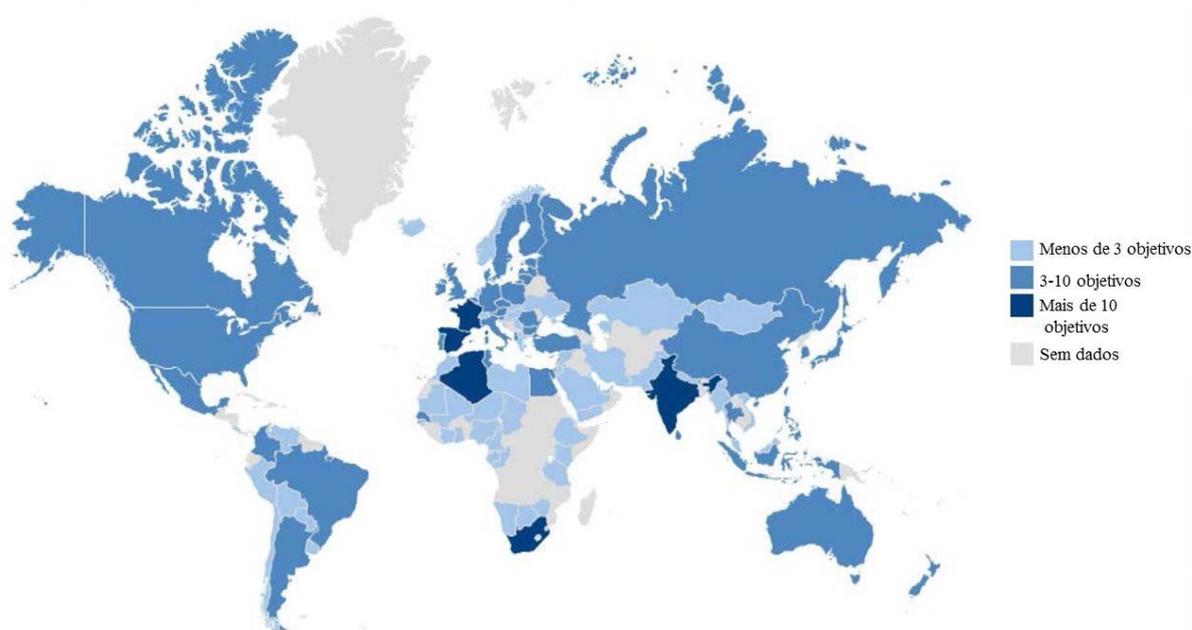


Figura 1.2-Países com programas e leis de eficiência energética (objetivos)

Fonte: Enerdata (2014).

Além da implementação das medidas e existência de instituições em nível nacional, organizações internacionais têm buscado desenvolver normas de eficiência energética. Este é o caso da ISO que desenvolveu a norma com parâmetros muito práticos visando incluir o tema da eficiência energética de maneira abrangente. A norma ISO 50001:2011 é um exemplo em nível mundial como sistema de gestão energética. Seu êxito é baseado na aplicabilidade e adaptação para todo tipo de empresa e organização que utilize energia.

Outras das medidas importantes pela repercussão envolvida são as elaboradas para os prédios. Estas acomodam quase todas as atividades que o ser humano desenvolve na vida cotidiana. A energia necessária nos prédios para o aquecimento, ventilação ou ar condicionado, água quente sanitária, iluminação e funcionamento dos eletrodomésticos, representam mais de um 30% da demanda de energia primária no mundo (Hepbasli, 2012).

- **Brasil**

No Brasil o consumo geral de energia desde 1970 até a atualidade incrementou-se em todos os setores. A Figura 1.3 mostra o crescimento mantido no setor residencial e comercial desde a crise energética em o 2001 até o ano 2013 com diferença do setor industrial que apresentou um estancamento no crescimento nos últimos 4 (quatro) anos. O setor público desde 2002 até 2013 obteve um crescimento no consumo energético entre 1,5 e 1,8% por ano, e seu consumo de

eletricidade aumentou de 3.570 GWh em 1970 MME (2003) até 41.288GWh no 2013, demonstrando um crescimento constante (EPE/MME, 2014).

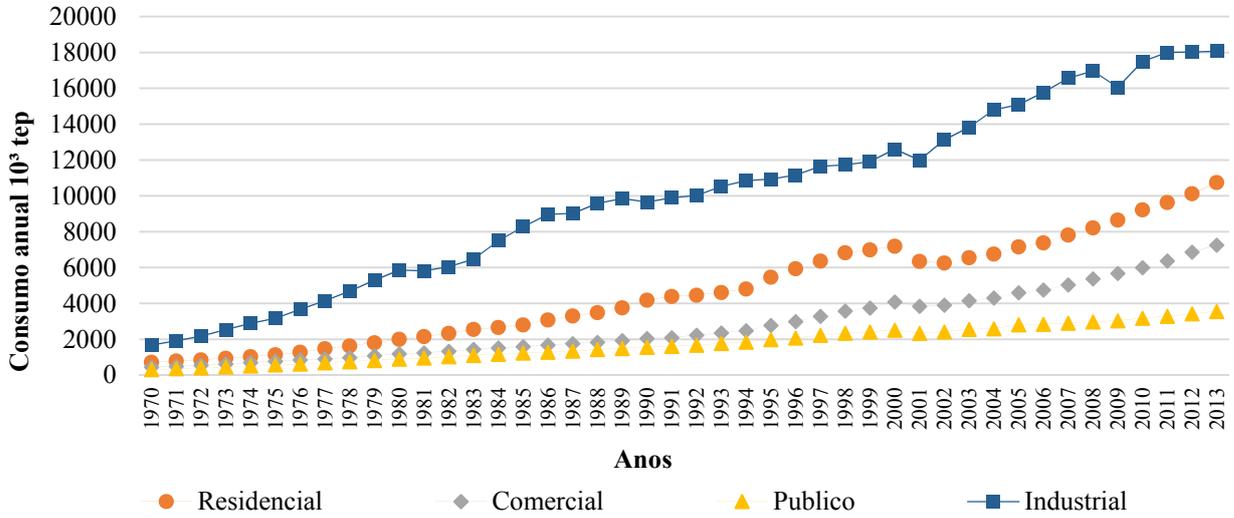


Figura 1.3-Consumo de energia elétrica por setor no Brasil 1970-2013

Fonte: (EPE/MME, 2005, 2014).

Analisando mais profundamente o caso do setor público pode-se observar na Figura 1.4 uma possível substituição de fontes de energia entre o *Gás Liquefeito de Petróleo* (GLP) e a eletricidade. Por essa razão, as medidas de eficiência no uso da energia são fortemente necessárias para o controle do consumo.

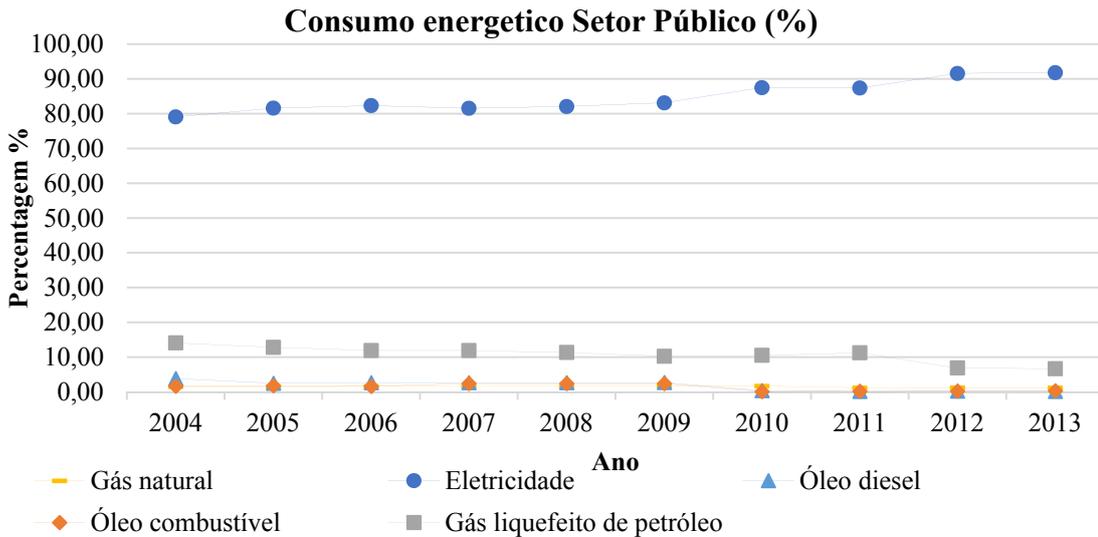


Figura 1.4-Consumo energético por fonte de energia em 3 setores diferentes.

Fonte: (EPE/MME, 2014)

No Brasil desde 1984 o *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia* INMETRO vem desenvolvendo por meio de discussões abertas com a sociedade o tema da eficiência energética e conseqüentemente, orientando na escolha dos produtos que tenham como características principais a eficiência.

Desde 1985 o *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* (PROCEL) apoia e desenvolve projetos na área de conservação de energia em edificações residenciais comerciais, dos setores de serviços e públicos. Com a vertente de PROCEL Edifica em 2003, são desenvolvidas atividades de divulgação e estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações.

Em 2001 ao ser regulamentada a lei n°. 10.295/2001 (Brasil, 2001) , foi criado o *Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País* (GT-Edificações), nesse momento foram desenvolvidos os *Requerimentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos* (RTQ-C) que contém os requerimentos necessários para avaliação e classificação do nível de eficiência das edificações. Neste trabalho se avalia energeticamente o prédio do *Instituto de Ciências Exatas* (ICE) localizado no campus da *Universidade Federal de Itajubá* (UNIFEI). A relevância deste trabalho reside na utilização de duas ferramentas de avaliação energética que, embora ambas visem a eficiência energética, avaliam partes diferentes do prédio, a saber: no caso da RTQ-C, é utilizada para avaliar a envoltória da edificação; e a ABNT-NBR: ISO 50001:2011 (ISO, 2011) avalia o consumo dos equipamentos. Comumente estas análises energéticas são feitas considerando os elementos consumidores, ou seja, os equipamentos utilizados no prédio, sem contar com as características próprias da forma e organização interna ou externa do prédio. Neste trabalho são realizadas as duas análises para o mesmo edifício avaliando a influência das características construtivas e organizativas do uso do prédio e o funcionamento dele no consumo de energia.

1.2 Objetivo geral

O objetivo é a identificação do potencial de redução do consumo energético do prédio do ICE por intermédio de modificações tecnológicas convencionais dos espaços interiores e da envoltória utilizando as normas ABNT-NBR: ISO 50001:2011 e RTQ-C.

1.3 Objetivos específicos

- Avaliação da envoltória do prédio segundo o RTQ-C e subsequente determinação das possíveis medidas passivas a serem utilizadas no prédio.

- Projeto de modificações no prédio como soluções passivas que diminuam o seu consumo energético.
- Avaliação da envoltória segundo o RTQ-C após realizado o projeto com as soluções passivas.
- Avaliação das possíveis reduções no consumo de eletricidade do prédio pelas soluções passivas consideradas.

1.4 Abrangência da dissertação.

Analisar formal e energeticamente um prédio mediante o RTQ-C e a norma ABNT-NBR: ISO 50001:2011 e propor soluções passivas de eficiência energética que diminuam o consumo.

1.5 Estrutura da dissertação.

Este trabalho contém 6 (seis) capítulos desenvolvidos e organizados segundo o tema.

Capítulo 2-Revisão bibliográfica- apresenta-se um resumo dos motivos do surgimento da eficiência energética no mundo e das medidas mais importantes desde o início até hoje utilizadas para o desenvolvimento de tecnologias, metodologias e leis que apoiam o conceito de forma geral e mais especificamente no setor da construção de edifícios. São mencionadas as diferentes medidas de eficiência energética no setor da construção no Brasil. São apresentados de forma resumida diferentes estudos que serviram de suporte teórico para o desenvolvimento do trabalho e para o projeto das soluções construtivas. São apresentadas de forma concisa e generalista parte das diferentes normas utilizadas dentro da pesquisa.

Capítulo 3-Análise do prédio- neste capítulo é caracterizado o prédio estudo de caso de forma geral e específica levando-se em consideração o tipo de construção, estrutura, característica da envoltória e tipos de espaços. É utilizado primeiramente o cálculo para a transmitância térmica dos elementos que conformam a envoltória do prédio estudado segundo a metodologia presente na NBR-15220 (ABNT 2003). Em seguida, é desenvolvida a metodologia de cálculo para a classificação do prédio segundo a norma de etiquetagem energética RTQ-C (INMETRO, 2010) para os componentes da envoltória. Como resultado do cálculo foi obtido o nível C dentro da escala de avaliação que a norma apresenta.

Capítulo 4-Determinação da Linha Base: capítulo onde é desenvolvida a metodologia para o cálculo da linha base como parte do desenvolvimento do modelo de gestão de energia para o prédio estudo de caso.

Capítulo 5-Proposta de projeto: onde se descreve o método para o projeto da proteção solar do prédio. São apresentadas e explicadas as soluções internas da proposta de projeto, junto com os resultados do cálculo de avaliação para a ventilação natural feito com a norma BS 5925(BSI, 1991) dos espaços antes e depois das modificações e os resultados alcançados. É feita novamente a avaliação da envoltória do prédio mediante o RTQ-C (INMETRO, 2010), mas com as modificações propostas almejando a obtenção do Nível A. É mostrada a solução exterior para a proteção solar junto com os resultados do cálculo térmico interior feito com a metodologia da *Sociedade Americana de engenheiros em refrigeração, calefação e ar condicionado Inc. (ASHRAE®* conforme sigla em inglês) para os espaços do prédio antes e depois da solução. Além disso, foi efetuada uma avaliação econômica das soluções propostas tendo como base uma reforma feita no prédio durante a realização deste trabalho.

Capítulo 6-Conclusões- São resumidos e ponderados os resultados obtidos no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eficiência energética no mundo

Em outubro de 1973, a organização de *Países exportadores de petróleo* (OPEC), motivada, sobretudo, mais política que economicamente, decidiu aumentar o custo do barril de US\$3 a mais de US\$12 (MARTIN et al. 1980). Isto resultou em uma crise econômica mundial que provocou inflação e recessão em todos os países principalmente os importadores de petróleo. Isto forçou a tomada de uma série de medidas internacionais para diminuir a dependência energética das fontes fósseis de energia, a saber:

- Utilização das fontes renováveis de energia como a solar e eólica:

Como à época não se dispunha do desenvolvimento tecnológico atual, foi determinada a intensificação das pesquisas para que em um longo prazo, tais fontes renováveis se tornassem viáveis e economicamente competitivas.

- Energia nuclear:

Mesmo que relativamente recente, esta tecnologia já tinha capacidade de desenvolver grandes quantidades de energia com menor custo. Em razão disto os países desenvolvidos conhecedores de tal tecnologia, começaram programas para o desenvolvimento desta. Como resultado do investimento em pesquisas sobre energia nuclear, do 3,3% (em 1973) de energia elétrica produzida sobre essa base tecnológica passou ao 11,7% (em 2011) na atualidade, considerando-se a retirada de várias usinas devido a catástrofes naturais e de outra natureza EPE/MME (2014).

- Desenvolvimento de programas de eficiência no uso da energia:

Após várias análises, concluiu-se que era possível levar o mesmo desenvolvimento e crescimento de países com menor consumo de energia. Um dos casos relevantes deste período foi do estado da Califórnia (EUA) que, desde 1970 vem servindo de modelo no mundo para políticas de eficiência energética em nível estadual. Foi o primeiro estado a adotar um grupo de normas obrigatórias em relação à eficiência energética e seu consumo *per capita* tem sido quase o mesmo desde a década dos 70. No mesmo período o consumo *per capita* dos EUA incrementou-se em cerca de 40%, e as políticas de eficiência energética foram desenvolvidas para abranger vários setores, entre eles o setor residencial. O estado da Califórnia economizou, desde 1976 até 2006, US\$56 bilhões, segundo Commission et al. (2013).

Nesta mesma década (1970) o clima mostrou sinais de mudanças em nível mundial, o qual foi associado ao consumo desenfreado de combustíveis fósseis, que geravam uma quantidade

considerável de CO₂, um dos gases que provocam o efeito estufa. Isto gerou um conjunto de medidas globais para a diminuição da emissão destes gases para atmosfera. Os eventos mais importantes nas quais foram apresentadas essas medidas são:

- Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (Estocolmo, 1972);
- Convenção de Viena para Proteção da Camada de Ozônio (Viena, 1985);
- Protocolo de Montreal (Montreal, 1987);
- Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento – ECO'92 (Rio de Janeiro, 1992);
- Conferência das Nações Unidas (Istambul, 1996);
- Protocolo de Kyoto (1997);
- Acordo de Paris (2015);

2.1.1 Norma internacional de Eficiência Energética ISO 50001

O surgimento da ISO 50001:2011 (ISO, 2011) deu-se pela necessidade de uma norma internacional que estabelecesse um sistema de gestão de energia que fosse geral e por vezes, específica para cada empresa que utilize energia independente da sua função, produção específica, dimensão e área de negócios.

Foi publicada pela organização internacional para a standardização (ISO) em junho de 2011 tendo boa acolhida no mundo. No *Reino Unido* (UK) foi aplicada com êxito na *Sheffield Hallam University*. Neste caso apresentou uma economia de energia de £10.000 ao mês desde sua implementação. Na *Bentley Motors*, a aplicação da ISO 50001:2011 (ISSO, 2011) resultou em dois terços por cada unidade, de eficiência no uso da energia e 14% em geral, na empresa toda And e Change (2012). Várias empresas importantes no mundo como *Volvo Truk* e *Nissan*, tiveram resultados positivos recuperando o investimento feito em 5 e 4 meses respectivamente. Em geral, no mundo a ISO 50001:2011 (ISO, 2011) teve em novembro de 2011, 60 certificações e foi aumentando até 7100 em abril do ano seguinte, Scheihing (2012).

O propósito da ISO 50001:2011 (ISO, 2011) é facilitar às organizações, o estabelecimento de sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética e o uso e consumo da energia. A sua implementação tem como finalidade a redução das emissões de gases GEE e outros impactos ambientais relacionados, bem como a redução dos custos da energia por meio de uma gestão sistemática. É aplicável para organizações de todo tipo e tamanho independentemente da cultura, localização geográfica ou características sociais.

A ISO 50001:2011 (ISO, 2011) especifica os requisitos de um Sistema de Gestão Energética (SGEn) para que qualquer organização possa desenvolver e implementar sua própria política energética e estabelecer seus objetivos, metas e planos de ação. É baseada em um ciclo de melhora contínua, “Planificar-Fazer-Verificar-Atuar” (PFVA) e integra à gestão da energia às práticas habitais da organização. A Figura 2.1 mostra em forma geral a ordem de aplicação deste sistema de gestão energética.



Figura 2.1 Modelo de sistema de gestão da energia para a ISO 50001.

Fonte: Adaptado de (ISO, 2011)

Esta norma não estabelece requisitos absolutos de desempenho, além dos compromissos estabelecidos na política energética da organização e sua responsabilidade no cumprimento dos requisitos legais. Em razão disso, duas organizações que realizem atividades similares com desempenhos energéticos diferentes podem cumprir seus respectivos requerimentos.

- **Termos e definições da ISO 50001:2011.**

O conhecimento das diferentes definições e termos da ISO 50001:2011 (ISO, 2011), foi necessário para a sua total compreensão. A seguir são colocadas as de maior interesse e que foram utilizadas neste trabalho como parte da metodologia utilizada para a avaliação energética efetuada no prédio.

Organização: Companhia, corporação, empresa ou instituição, ou parte ou combinação de elas, sejam ou não empresas, pública ou privada, que tem suas próprias funções e administração e autoridade para controlar seu uso e seu consumo da energia.

Revisão energética: É a determinação do desempenho energético da organização baseada em dados e outro tipo de informação orientada à identificação de oportunidades de aperfeiçoamento.

Linha base energética: A linha base energética é uma referência que proporciona a base de comparação do desempenho energético em um período específico. Esta se pode normalizar utilizando variáveis que afetem o uso e/ou consumo da energia, como pode ser: o nível de produção, temperatura exterior etc. Também é utilizada para calcular a economia de energia, como uma referência antes e depois da implementação das ações de aperfeiçoamento no desempenho energético.

Indicador de desempenho energético (IDEn): É um valor quantitativo ou medida do desempenho energético segundo definição da organização. Estes IDEn's podem-se expressar como uma simples medição, um quociente ou um modelo mais complexo.

Consumo de energia: Quantidade de energia utilizada.

Eficiência energética: proporção ou outra relação quantitativa entre o resultado em termos de desempenho, de serviços, de bens ou de energia e a entrada de energia.

Exemplo: Eficiência de conversão; energia requerida/energia utilizada; saída/entrada; valor teórico da energia utilizada/energia real utilizada.

Nota: É necessário que, na entrada e na saída, seja especificada claramente a quantidade e qualidade e que sejam medíveis.

Sistema de gestão da energia (SGEn): Conjunto de elementos inter-relacionados e que interatuam para estabelecer uma política e objetivos energéticos, e os processos e procedimentos necessários para alcançar ditos objetivos.

- **Atividades do sistema de gestão da energia dentro da ISO 50001.**

Dentro desta norma são especificados os diferentes requisitos para a elaboração de um sistema de gestão energético. A “Planificação Energética” é um destes requisitos, e está constituído por diferentes atividades que são desenvolvidas como parte deste trabalho de investigação, como é

o caso da “Revisão energética” a “Linha base energética” e os “Indicadores de desempenho energético”. A seguir são descritas estas atividades para ter um maior entendimento.

- **Revisão energética:**

Para realizar a revisão energética é necessário desenvolver, registrar e manter uma revisão energética. Para o desenvolvimento desta é necessário:

Analisar o uso e consumo da energia baseado em medições e outro tipo de dados como:

- A identificação das fontes de energia
- Avaliação do uso e consumo passados e presentes da energia.
- Identificação das áreas onde é significativo o uso da energia, baseado no análise de seu consumo, ou seja:
 - Identificar as instalações, equipamento, sistemas etc. que afetem significativamente o uso e consumo da energia;
- Identificar outras variáveis que afetam o uso da energia;
- Determinar o desempenho energético atual das instalações, equipamento, sistemas e processos relacionados com o uso significativo da energia;
- Estimar o uso e consumo futuros da energia;
- Identificar, priorizar e registrar oportunidades para a melhoria do desempenho energético.

A revisão energética deve ser atualizada em intervalos definidos e em respostas a trocas nas instalações, equipamentos, sistemas e/ou processos.

- **Linha base energética:**

Para ter a linha base tem-se que estabelecer uma(s) linha(s) base energética utilizando a informação da revisão energética inicial e considerando um período para a recollecção de dados ao uso e consumo da energia da organização. Os câmbios no desempenho energético devem ser avaliados em relação à linha base energética.

Tem que se realizar ajustes na linha base quando aconteçam uma ou mais das seguintes situações:

- Os indicadores energéticos (IDEns) já não representam o uso e consumo da energia.
- Tenha-se realizado trocas importantes nos processos, linhas de operação, ou sistemas de energia.

- **Indicadores de desempenho energético (IDEns):**

Os IDEns identificados nas empresas, devem ser os apropriados para realizar a sequência e a medição do desempenho energético da organização. A metodologia para sua determinação e atualização deve ser documentada e revisada regularmente. Estes IDEns devem ser revistos e comparados com a linha base energética em uma forma apropriada. Quando existir uma variação ou troca nas atividades da organização estes IDEns devem ser modificados e atualizados.

2.1.2 RTQ-C Requisitos técnicos da qualidade para o Nível de Eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.

Parte importante deste trabalho é a avaliação segundo o RTQ-C, da envoltória do prédio objeto de estudo, para conhecer o seu nível de eficiência energética. Esta é utilizada, por ser uma ferramenta desenvolvida com diferentes classificações que dependem das características próprias do prédio avaliado incluindo a sua localização específica dentro do Brasil. A seguir é feito um resumo dos principais aspectos do RTQ-C.

- **Simbologia e definições para a aplicação da metodologia da norma RTQ-C para envoltória.**

Abertura: Todas as áreas da envoltória do edifício, com fechamento translúcido ou transparente (que permite a entrada da luz), incluindo janelas, painéis plásticos, claraboias, portas de vidro (com mais da metade da área de vidro) e paredes de blocos de vidro. Excluem-se vãos sem fechamentos, elementos vazados como cobogós e caixilhos.

Ambiente: Espaço interno de um edifício, fechado por superfícies sólidas, tais como paredes ou divisórias, teto, piso e dispositivos operáveis como janelas e portas.

Ambiente de permanência prolongada: Ambientes de ocupação contínua por um ou mais indivíduos, incluindo escritórios, salas de aulas, laboratórios.

Ângulos de sombreamento: Ângulos que determinam a obstrução da radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. No RTQ-C são usados dois ângulos: ângulo vertical de sombreamento (AVS - referente a proteções horizontais) e ângulo horizontal de sombreamento (AHS - referente a proteções verticais).

Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS): Ângulo formado entre dois planos verticais:

O primeiro plano é o que contém a base da folha de vidro (ou material translúcido);

O segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro (ou material translúcido).

Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS): Ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura:

O primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro (ou material translúcido);

O segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro (ou material translúcido).

Área da envoltória (A_{env}) (m^2): Soma das áreas das fachadas, empenas e cobertura, incluindo as aberturas.

Área de projeção da cobertura (A_{pcob}) (m^2): Área da projeção horizontal da cobertura, incluindo terraços cobertos ou descobertos e excluindo beirais, marquises e coberturas sobre varandas esta última, desde que fora do alinhamento do edifício.

Área de projeção do edifício (A_{pe}) (m^2): Área de projeção média dos pavimentos, excluindo subsolos.

Área útil (AU) (m^2): Área disponível para ocupação, medida entre os parâmetros internos das paredes que delimitam o ambiente.

Área Total Construída (A_{tot}) (m^2): Soma das áreas de piso dos ambientes fechados da construção, medidas externamente.

Envoltória (Env): Planos que separam o ambiente interno do ambiente externo.

Fachada: Superfícies externas verticais ou com inclinação superior a 60° em relação a horizontal.

Inclui as superfícies opacas, paredes, translúcidas, transparentes e vazadas, como cobogós e vãos de entrada.

Fachada oeste: Fachada cuja normal a superfície está voltada para a direção de 270° em sentido horário a partir do norte geográfico. Fachadas cuja orientação variar de $+45^\circ$ ou -45° em relação a essa orientação serão consideradas como fachadas oeste.

Fator Altura (FA): Razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob}/A_{tot}), com exceção dos subsolos.

Fator de Forma (FF): Razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot}).

Fator Solar (FS): Razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é irradiada novamente ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal a abertura.

Indicador de Consumo (IC_{env}): É um parâmetro para avaliação comparativa da eficiência da envoltória. As equações que determinam o IC foram geradas através de resultados de consumo de energia simulados no programa computacional *Energy Plus*® para diversas tipologias construtivas de edificações comerciais no Brasil. São equações de regressão multivariada específicas para as *zonas bioclimáticas brasileiras*. O *Indicador de Consumo* não pode ser considerado como o consumo de energia da edificação, pois este dependente das cargas internas e tipo de eficiência do sistema de condicionamento de ar, parâmetros não incluídos nas equações. Este deve ser considerado apenas um indicador para comparação entre edificações cuja volumetria é idêntica (Fator de Forma e Fator Altura), de forma que represente as variações de eficiência decorrentes somente da envoltória.

Transmitância térmica ($W/(m^2K)$): Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220 - Parte 2 ou da NBR 6488.

Transmitância Térmica da Cobertura (U_{cob}) ($W/(m^2K)$): Transmitância térmica das coberturas do edifício.

Transmitância Térmica das Paredes (U_{par}) ($W/(m^2K)$): Refere-se a transmitância de paredes externas somente.

Volume Total da Edificação (V_{tot}) (m^3): Volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos.

Zona Bioclimática: Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano de acordo com a NBR 15220 - Parte 3

- **Objetivo.**

Criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais de serviços e públicos.

- **Objetivo e procedimento de determinação da eficiência para envoltória.**

Este programa de etiquetagem especifica os requerimentos técnicos, e os métodos para classificação de prédios comerciais, públicos e de serviço quanto à Eficiência energética.

- **Procedimento de determinação da eficiência para envoltória.**

O RTQ-C é aplicável em todos os prédios que tenham uma área útil mínima de 500 m² e/ou tensão de abastecimento por acima ou igual a 2,3 kV incluindo edifícios climatizados, parcialmente climatizados e não climatizados. Pelo caráter nacional da RTQ-C o país foi dividido em Zonas Bioclimáticas que tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes.

Há 8 Zonas Bioclimáticas no Brasil, definidas segundo dados climáticos para a determinação de estratégias de projeto necessárias para atingir o conforto térmico de moradias de interesse social. A norma “NBR 15.220-3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro” apresenta a lista de 330 cidades brasileiras pertencentes à sua Zona Bioclimática.

A etiquetagem de eficiência energética tem duas formas de avaliação: o método prescritivo ou de simulação. Neste trabalho é usado o método prescritivo por ser um modo mais simples e possível de fazer por qualquer profissional da área com recursos materiais limitados. Este método deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e a eficiência do sistema de condicionamento do ar. Neste trabalho só vai ser analisado os requisitos correspondentes ao desempenho da envoltória por estar ligado diretamente à arquitetura própria do prédio, ou seja, à forma que foi dada ao prédio na hora do projeto. O método prescritivo tem vários níveis de eficiência energética em sua avaliação que vão da A (mais eficiente), B, C, D até a E (menos eficiente). Cada nível de eficiência tem pré-requisitos específicos para cada zona bioclimática que fixam valores limites da:

-Transmitância térmica das paredes e da cobertura;

-Cores e absorvância de superfícies;

-Iluminação zenital.

Para obter os valores de cada pré-requisito é utilizada a norma de cálculo NBR-15220 parte 1, 2 e 3 que contém as diferentes ferramentas, dados e metodologia de cálculo.

Após os pré-requisitos é determinado o índice de consumo da envoltória (IC_{env}) por meio da escolha entre duas formulas definidas segundo a zona bioclimática e quantidade de m^2 de área de projeção (A_{pe}) que tenha o prédio, uma para área menor de $500m^2$ e outra para área maior de $500m^2$.

Esta metodologia será desenvolvida com mais detalhes no capítulo 3 onde é feito o cálculo de IC_{env} para o prédio estudado.

2.1.3 Eficiência energética em prédios no mundo.

As pessoas permanecem a maior parte do tempo em prédios para realizar as tarefas do dia, além de dormir ou praticar esportes. Mas para realizá-las, é necessário utilizar algum tipo de energia para movimentar as ferramentas de trabalho e/ou tornar mais cômodo o serviço que é prestado, sem perigo de acidente, ou seja, o tempo todo as pessoas estão consumindo energia nos prédios. Estes tem uma vida mínima de 50 anos para diferentes países. Ressalta-se que na China, em razão do rápido desenvolvimento pode chegar até 20 anos. A infraestrutura das edificações está sendo construída ou já existem, e em razão disso, decorre a necessidade do desenvolvimento de leis e políticas que compreendam medidas de eficiência energética, visando a um uso mais racional da energia atual e futura. O consumo total de energia, residencial e comercial, tem aumentado constantemente alcançando entre o 20% e 40% em países desenvolvidos, superando os outros grandes setores: industrial e transporte (L. PÉREZ 2008; IBN-MOHAMMED et al. 2013; KORONEOS et al. 2012). Na Europa Continental a energia utilizada nos edifícios é responsável de até um 50% das emissões de CO_2 Hoxha et al. (2014), na qual a parte residencial é responsável por 36% (HEEREN et al., 2013). Em EE UU o setor da construção consome aproximadamente os 49% da energia total produzida e contribui com o 47% das emissões de GEE (RUSSELL-SMITH et al., 2014). Na China, os edifícios já existentes representam os 30% do consumo total de energia e contribui a 25% das emissões (SHI et al., 2014). O setor residencial na Bélgica produz o 40% das emissões de CO_2 (BUYLE et al., (2013). Mas, o consumo de energia não se dá apenas na etapa de uso, os prédios são fabricados, reparados e no final demolidos, e para isto, necessita-se também de energia. Por isto é que a construção de edifícios consome os 40% dos materiais e da energia produzidos em todo o planeta segundo Dixit, et. al., (2012); Rodríguez-Soria et. al., (2014), e produce entre 30-50% GEE Asif,

Muneer, e Kelley (2007); Mosteiro-Romero et al. (2014); Roh, Tae, e Shin (2014), e todos esses números vão seguir aumentando pela migração da população. Espera-se que entre 2030 -2050, 60% - 70% das pessoas no mundo residam em núcleos urbanos (NG e MITHRARATNE, 2014; PERIS, 2007; RISTIMÄKI et. al., 2013; SHARMA et. al., 2011).

Em resposta desta situação, atualmente em todo o mundo, tem-se desenvolvido sistemas de etiquetagem de prédios visando à eficiência no uso de materiais e energia de qualquer tipo em todos os sentidos para causar o menor dano possível à natureza e para conseguir economia de recursos desde o projeto, construção, até seu uso cotidiano. O primeiro sistema de classificação de edifício sustentável foi o método de estabelecimento de pesquisa e Avaliação Ambiental da Construção (BREEAM conforme sigla em inglês) criado em 1990 no Reino Unido. Foi seguido por Liderança em Energia e Projeto Ambiental (LEED), sistema de avaliação de novos edifícios, desenvolvido por o Conselho de Edifício Ecológico (USGBC) dos EUA (LEE e BURNETT, 2008). Depois disto, surgiram outros sistemas de avaliação seguindo uma metodologia semelhante, mas modificadas segundo as condições da cultura os climas e as diferentes situações econômicas dos outros países.

2.1.4 Análise da eficiência energética em escolas.

Todos estes sistemas de etiquetagem são aplicados nos diferentes setores da sociedade. Por prioridade, na educação, são várias as pesquisas avaliando diferentes critérios e propondo diversas soluções. A seguir, são apresentados em forma resumida, vários trabalhos que propõem diferentes soluções ao problema da eficiência energética e que influíram na realização deste trabalho.

Pinheiro e Heitor (2014) analisaram os padrões de consumo de energia de oito (8) escolas portuguesas com uma abordagem metodológica que integra a análise de dados quantitativos e qualitativos. Os autores (*op. cit.*) relacionaram os padrões de consumo de energia das escolas com o comportamento dos usuários e estratégias de gestão. O resultado foi, a identificação de várias Estratégias Chave de Desempenho (KPS, conforme siglas em inglês) para maximizar e/ou melhorar o desempenho energético das escolas estudadas. Alguns dos KPS identificados podem ser implementados diretamente por meio de políticas de gestão escolar para reduzir o uso de energia e aumentar a eficiência, além de outros poderiam ser incorporados em futuras estratégias de projeto nos edifícios das escolas. As principais KPS segundo os autores (*op. cit.*) são:

- Valorização da informação e comunicação: a retroalimentação e transferência de conhecimento em diferentes níveis influem na própria percepção do controle e poder dos usuários para a auto capacitação em relação ao estabelecimento das condições de conforto e uso eficiente da energia.
- Valorização da sustentabilidade ambiental e o reconhecimento do impacto ambiental das escolas: as atitudes dos usuários em relação às questões ambientais e reconhecimento ou descaso do impacto ambiental do consumo energético das escolas parecem influenciar nas diferentes estratégias de gestão implementadas. A capacidade de comunicar os dados é um dos principais problemas para o avanço da consciência no futuro da eficiência energética.
- Reconhecimento de diferentes perfis de usuário (ao nível de edifício, faculdade ou escola), diferentes necessidades e personalização de padrões de conforto: Ao ter a administração um conhecimento mais profundo da dinâmica escolar e o consumo energético, pode elaborar a administração de diferentes tarefas diferentes, espaços e horários.
- Usabilidade e adaptabilidade do sistema: ter um Sistema de Gestão Informático (BMS, conforme siglas em inglês) não significa necessariamente mais eficiência e conforto. A combinação das estratégias anteriores (I + II + III) parece ser uma condição necessária prévia para o uso real de uma BMS. Uma BMS com HVAC e iluminação integrada pode ter um impacto positivo no desempenho energético nas escolas.
- Usabilidade funcional e adaptabilidade dos espaços: o projeto funcional dos espaços parece impactar no uso de fontes de energia nas escolas. Principalmente a iluminação artificial das áreas de circulação e o baixo nível de adaptabilidade das salas de aula.
- Os desenvolvimentos futuros: identificar as KPS pode ser um passo para identificar "fatores comportamentais" quantificáveis que impactam no consumo de energia nos edifícios. Transformar esses fatores intangíveis para mensuráveis e depois ser testados por ferramentas de modelagem e simulação, ajudaria o melhoramento das estratégias no processo de projeto e construção de equipamentos e dos prédios em geral potenciando a redução das cargas energéticas.

Reiss (2014) mostra mediante medidas inovadoras como o consumo energético de edifícios escolares podem ser reduzido em média de 80%. As medidas incluem a adaptação da envoltória do edifício, serviços técnicos e também a utilização de energias renováveis. Após a adaptação,

alguns dos prédios escolares do estudo alcançaram o padrão de *Energy Plus*® e os outros alcançaram o padrão de construção 3-Litre. Na Tabela 2.1 são apresentadas as diferentes tecnologias usadas nos prédios reequipados e na Figura 2.2 são mostrados os valores da transmitância térmica da envoltória (U) antes e depois das transformações.

Tabela 2.1-Novas tecnologias usadas nos prédios reequipados para a diminuição do consumo energético.

Componentes inovadores usados no reequipamento.	Reforma				
	Olbersdorf	Rostock	Cottbus	Marktberdorf	Stuttgart
Isolamento térmico de alto performance		●	●	●	●
 Vidro triplo	●	●	●		●
 Vidro eletrocromico	●				
Sombreamento mecânico automático	●	●	●	●	●
Redirecionamento da luz natural	●	●	●		●
Materiais de mudança de fase (PCM)			●		
Sistema de ventilação com recuperação de calor		●	●	●	●
Resfriamento passivo	●		●		
Ventilação noturna					●
Painéis fotovoltaicos		●		●	●
Sistema de aquecimento solar térmico			●	●	
Energia geotérmica	●		●		●
Biogás				●	
Biomassa				●	
Energia eólica		●			
Aquecimento urbano		●	●	●	
Edifícios inteligentes	●	●	●	●	●

Fonte: (Reiss, 2014)

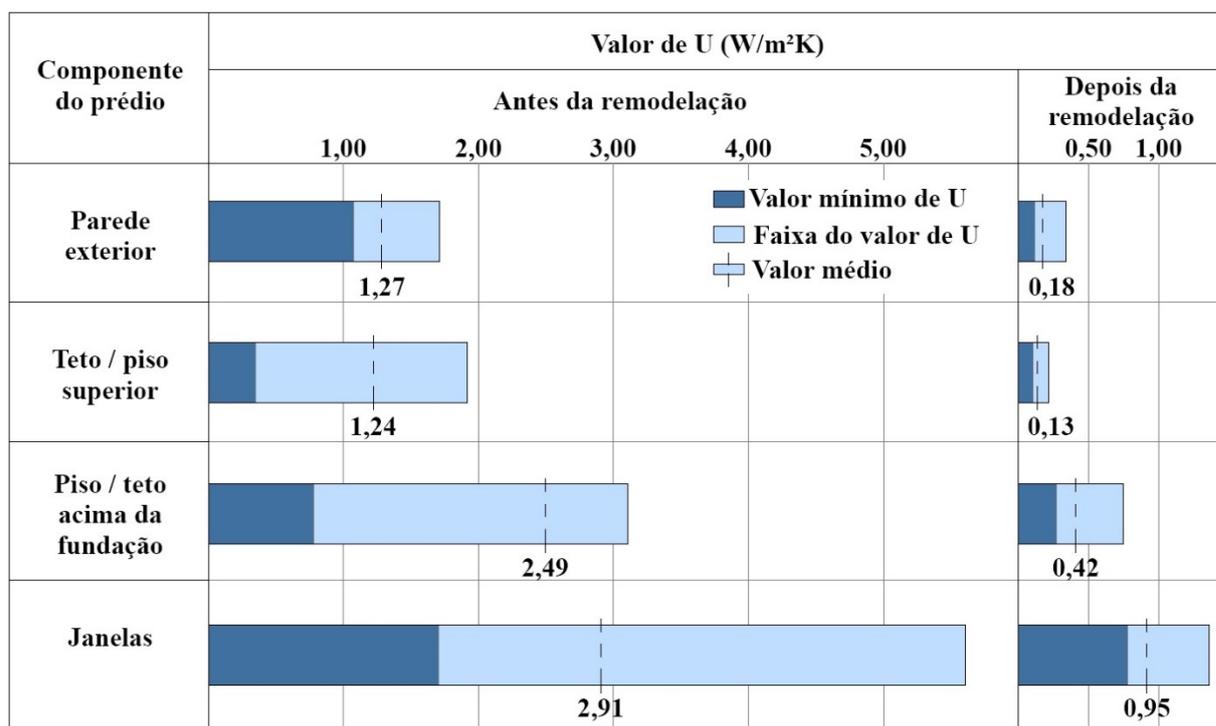


Figura 2.2- Valores de U antes e depois da reforma.

Fonte: (Reiss, 2014)

Barelli e Bidini (2004) fizeram uma pesquisa correlacionando consumo/temperatura para definir o consumo energético e detectar as possíveis soluções. Os autores (*op. cit.*) identificaram os espaços em três blocos diferentes (aulas didáticas, salas dos professores, e bloco de laboratórios) e os usuários foram classificados como: estudantes, não pesquisadores e pesquisadores. Os consumos relacionados aos três tipos de área foram avaliados segundo os indicadores $C_{did.A}$, $C_{off.A}$ e $C_{lab.A}$ (consumo pela área geral em cada bloco) e os consumos dos usuários avaliados com os indicadores $C_{stu.U}$, $C_{per.U}$ e $C_{res.U}$ (consumo geral pela quantidade de pessoal em cada bloco). Ao comparar os resultados dos índices de consumo C_U e C_A os valores obtidos pelos autores (*op. cit.*) foram proporcionais obtendo que quanto maior a área maior é a quantidade de estudantes e maior o consumo. A correlação da temperatura ambiente e o consumo energético mensal mostrou a ineficiência dos sistemas de aquecimento e resfriamento pela perda de calor e dimensionamento da planta térmica. Os consumos térmicos específicos mais altos estiveram diretamente relacionados à os prédios mais velhos (BARELLI e BIDINI, 2004).

Thewes et al. (2014) analisaram energeticamente 68 escolas em Luxemburgo e fizeram correlações tendo definidas como variáveis independentes os *anos de construção, normas energéticas, tipo de uso, refeitório, cozinha, área bruta climatizada e fonte energética*. Como

variáveis dependentes foram definidas o *consumo energético térmico total*, *consumo elétrico* e *consumo de energia final*. As correlações mais fortes foram achadas entre *consumo térmico* e *ano da construção do prédio*, *normas energéticas* e *fonte energética*. Os resultados obtidos pelos autores (*op. cit.*) mostraram a importância das condições técnicas dos edifícios obtendo uma economia de energia na calefação de 17GWh em os novos prédios escolares. Porém existe incremento do consumo elétrico pela presença de restaurantes com cozinha, uso de PCs, vídeos projetores durante as horas de aula e de ventiladores. O consumo nos novos prédios diminui parcialmente pelo uso de lâmpadas de baixo consumo e as novas normas de energia atualmente em vigor. Em resumo, segundo os autores, os novos prédios de educação de baixa energia economizam em 70% a energia dedicada ao equipamento térmico em comparação com os outros edifícios, porém o aumento de consumo de energia elétrica em outros serviços e equipamentos diminui este valor em 17-30%.

Acosta (2009) elaborou uma metodologia para a análise do consumo energético teórico em edificações mediante o cálculo da potência instalada e o estudo das características no uso da energia. A obtenção de possíveis causas nas diferenças dos valores teóricos respeito aos reais foi o resultado mais significativo do autor (*op. cit.*), os quais seriam as possíveis situações de consumo excessivo de energia. As prováveis causas são:

- Presença de altos consumos fora do horário de ocupação devido ao funcionamento de aparelhos de laboratório e servidores.
- Variações da demanda interna de climatização devido à inercia térmica pelo uso de equipamentos, ocupação, perdas por transmissão.
- Variações no uso e ocupação dos equipamentos e espaços.

A precisão almejada no cálculo do consumo teórico frente ao consumo real é determinada principalmente pelo conhecimento preciso que se tenha dos padrões de ocupação de espaços e gestão de equipamentos e sistemas e a exatidão dos dados físicos do prédio.

O peso do sistema de iluminação na potência instalada foi de 3-12% segundo o tipo de edifício e época do ano. O peso sobre o consumo real foi de 10-15%. Pode existir um incremento dos valores reais pela existência de lâmpadas de mesa utilizadas pelos trabalhadores.

No sistema de força a potência instalada supõe entre 10-30% do total e no consumo tem um peso de entre 15-30% do prédio. Estes tipos de equipamentos estão situados nos laboratórios e o controle real deles é importante pelo alto potencial de consumo e a irregularidade no seu uso. Segundo foi estimado pelo autor (*op. cit.*), a maior parte do consumo fora do horário de

ocupação (noite e dia não laboral) são causados por este tipo de equipamento. Também existem além de um grupo de equipamento regular nos espaços (lâmpadas, PCs, etc.), outros que aumentam consideravelmente o consumo (cafeteiras elétricas, geladeiras, condicionadores, portáteis, etc), e assim tem muita importância conhecer os padrões de uso e quantidade real de equipamentos.

Battle (2015) analisou o consumo de energia no campus da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) com uma metodologia baseada na ABNT NBR ISO 50001:2011 para o estabelecimento de um indicador de Eficiência Energética (EE) que é possível ser aplicado para qualquer edifício vinculado diretamente com as funções de qualquer Instituto de Educação Superior (IES). Esta metodologia tem as seguintes vantagens:

- É baseada em uma linha base de desempenho estabelecida para condições de tempo similares seja anual ou sazonal,
- O estabelecimento da linha base utiliza um método de filtro de dados para garantir a eliminação de comportamentos atípicos no consumo de energia que podem afetar a amostra.
- Identifica os equipamentos e áreas chaves da EE do IES, não pela magnitude do consumo absoluto de energia, mas pela magnitude das perdas de energia não associadas à produção ou serviço realizado pelo equipamento.
- Elabora uma série de ações preventivas e corretivas para serem executadas em tempo real que influenciará positivamente no valor padrão fixado para o cumprimento da linha meta de consumo energético.

A partir dos resultados obtidos, as variáveis mais influentes segundo o autor (*op. cit.*) foram: a variação da temperatura durante todo o ano, os períodos acadêmicos e de férias e a ocupação e utilização das áreas. A metodologia proposta obteve como resultado para o campus da UNIFEI, um potencial de economia energética por intermédio de boas práticas de 14.260 kWh/mês para o primeiro semestre e 16.043 kWh/mês para o segundo semestre.

2.2 Eficiência energética no Brasil

Comparando Brasil com a União Europeia (UE) e EUA, observa-se que o Brasil tem um nível elevado de comprometimento com medidas que propiciam um melhor uso da energia (Quadro 2.1) tendo a mesma quantidade de programas na área de etiquetagem no nível obrigatório, relativamente à UE e mais que EUA em nível voluntário.

Quadro 2.1-Normas para eletrodomésticos e programas de etiquetagem.

PAIS	NORMAS E PROGRAMAS DE ETIQUETADO	PRODUTOS ABRANGIDOS
Países da União Europeia -France -Alemanha -Itália -Reino Unido	Etiqueta – Obrigatória	9
	Etiqueta - Voluntária	16
	Norma mínima de desempenho energético-Obrigatória	4
	Norma mínima de desempenho energético - Voluntária	7
	Norma de desempenho energético em teste	10
Estados Unidos	Etiqueta – Obrigatória	17
	Etiqueta - Voluntária	25
	Norma mínima de desempenho energético-Obrigatória	20
	Norma mínima de desempenho energético – Voluntária	2
	Norma de desempenho energético em teste	43
Brasil	Etiqueta – Obrigatória	9
	Etiqueta – Voluntária	31
	Norma mínima de desempenho energético-Obrigatória	3
	Norma mínima de desempenho energético - Voluntária	10
	Norma de desempenho energético em teste	33

Fonte: Adaptado de (United Nations, 2007)

2.2.1 Eficiência energética em edificações no Brasil.

O comprometimento do governo brasileiro com medidas de uso racional de energia começou em 1985 quando o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o PROCEL de âmbito nacional com coordenação feita pela Eletrobrás Aneel (2007). A partir deste evento foram desenvolvidos uma série de programas que levaram à criação da RTQ-C atualmente em vigor pela portaria Inmetro n.º372 de 17 de setembro de 2010 complementada pelas Portarias Inmetro n.º17, de 16 de janeiro de 2012, Portaria Inmetro n.º299 de 19 de junho de 2013 e portaria Inmetro n.º126 de 19 de março de 2014.

2.3 Soluções passivas de eficiência energética.

Todos os sistemas para avaliar a eficiência energética em prédios mencionados anteriormente têm como um dos seus pontos fundamentais mensurar o aproveitamento da iluminação e ventilação de forma natural. O uso de proteção solar, pátios e janelas de maneira correta são muito úteis para diminuir o consumo energético. Em seguida, são resumidos alguns trabalhos que trataram do tema com mais profundidade e sugerem soluções para o uso correto destas soluções passivas.

2.3.1 Elementos de sombreamento (*Brise soleil*).

Um dos elementos mais estudados atualmente é a proteção solar, com o propósito de controlar a luz que é fornecida pelo sol, de maneira a utilizá-la como fonte natural de iluminação, assim como elemento regulador de temperatura e conforto térmico. A seguir, são descritos alguns

trabalhos que tratam o tema com resultados positivos para a pesquisa a ser desenvolvida no presente estudo.

Palmero-Marrero e Oliveira (2010) estudaram o rendimento de dispositivos de sombra horizontais e verticais (*Brise soleil*) nas fachadas leste, oeste e sul de um edifício, avaliando-as para diferentes latitudes em diferentes cidades como México (México), Cairo (Egito), Lisboa (Portugal), Madrid (Espanha) e Londres (Reino Unido). Os *Brise soleil* verticais foram considerados para as fachadas leste/oeste e os horizontais para a fachada sul. Os efeitos destes dispositivos dependeram, sobretudo, da localização do ângulo de inclinação e a área da janela. Na fachada sul, o sistema foi otimizado para proporcionar sombra adequada no verão e permitir a incidência solar no inverno. Como resultado dos autores (*op. cit.*) foi demonstrado quem ao se utilizar os *Brise soleil*, é possível garantir boas condições térmicas ambientais interiores e conseguir importantes níveis de economia de energia com relação à refrigeração nos estudos de casos supracitados, apresentando os mais altos valores nas cidades do Cairo, Lisboa e Madrid, uma vez que estas têm altos valores de temperatura e radiação solar ambiente no verão. Na cidade de Londres, o uso de *Brise soleil* durante todo o ano resultara em uma demanda de energia total anual mais elevada comparando-se à situação sem o dispositivo, pelas baixas temperaturas em algumas épocas do ano. Nestes casos, recomenda-se instalar *Brise soleil* mecânicos para ter a opção de modificar a inclinação e deixar entrar a luz do sol. (PALMERO-MARRERO e OLIVEIRA, 2010)

Bellia, De Falco, e Minichiello, (2013) utilizaram o *software* ``*Energy Plus®*`` (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY), distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e desenvolvido para simulação de carga térmica, assim como a análise energética de edificações e seus sistemas, testaram *Brise soleil* horizontais em um edifício típico de escritórios com os dados climáticos de Palermo, Roma e Milão, três regiões diferentes da Itália, visando a avaliar a economia de energia em aclimatação, iluminação e refrigeração. Como resultado, foi obtida uma economia em 20% da energia para Palermo a região mais quente. Na Roma a região intermediária, a economia foi de 15% e para Milão a região mais fria foi de 8%. Ressalta-se que na região mais quente, caso o edifício não tenha isolamento térmico, a economia chegaria até o 14% e em caso com forte isolamento térmico, chegaria a 24%. Entretanto, para o clima mais frio, tais valores seriam de respectivamente, 3% e 16%. A relação janela / parede (window wall ratio, WWR, conforme sigla em inglês) tem influência significativa na economia da energia em relação ao uso de elementos de proteção solar. Nos casos de WWR=30% e WWR=60% na região quente pode chegar de 20% até 28%, respectivamente. Tais valores, de

economia dos requisitos de energia, porém, considerando-se uma região fria, são de 15% e 8%. Mas, os requisitos de energia com WWR=30% (sem proteção) são aproximadamente iguais comparando-se aos requisitos de uma construção com WWR=60% (com proteção). Isto mostra que, com o uso adequado de *Brise soleil* diminui-se significativamente o aumento da demanda de energia dos edifícios altamente envidraçados. Também, quando o lado mais longo do prédio não está orientado para o norte ou sul, o comportamento energético do prédio é muito ruim (caso do prédio sem elementos de sombreamento, nos quais os requerimentos globais de energia se incrementaria em 10 % para região intermediária e 6 % para a mais fria). O uso de *Brise soleil* para a região fria resultaria em valores negativos (tem um incremento de uso de energia de 9%) e para a intermediária teria uma pequena economia de 5%. Do lado sul, a profundidade da proteção dependeria da altura da janela.

Manzan (2014) buscou aperfeiçoar um *Brise soleil* desenvolvido com a intenção de minimizar o consumo de energia primária dentro de um escritório. Foi levado em consideração o consumo de energia por resfriamento, aquecimento e iluminação interior. O estudo foi realizado com os softwares FRONTIER®, DAYSIM® para o cálculo da radiação e carga elétrica da iluminação interior respectivamente e o code ESP-r® para a simulação energética. O *Brise soleil* foi analisado com diferentes tipos de vidros para as cidades de Trieste (*t*) e Roma (*r*) com diferentes condições climáticas. Foram obtidas diferentes soluções para cada configuração, com uma redução da energia primária superior a 19% para *t* e 30% para *r* com relação à janela sem proteção. Por essa razão, é importante levar-se em consideração no projeto de *Brise soleil*, o seu impacto na carga energética do prédio, tanto no consumo do sistema de iluminação, quanto no sistema de resfriamento e aquecimento. Ressalta-se que na presente pesquisa foram estudados os efeitos da percepção de desconforto em função da luz do dia nem tampouco a possibilidade de mobilidade do dispositivo.

Yun, Yoon, e Kim (2014) consideraram a iluminação natural em uma análise da mesma como fonte para o conforto visual e para a economia de energia. Estudando o projeto conveniente da fachada, assim como estratégias de controle, com o uso de elementos de sombreamento ou luzes elétricas especiais, que possam ajudar na redução do consumo de eletricidade pela iluminação e também possam contribuir à diminuição do uso dos HVCA. A análise foi feita com o método de simulação integrada (ISM) *Energy Plus*® e o *DIVA for Rhino*® e considerando-se 3000 lux, como valor limite da radiação vertical do olho (E_v). Foram avaliados vários casos pelos autores (*op. cit.*): 3 (três) orientações do prédio, 2 estratégias de controle da iluminação e 10 estratégias no controle das persianas. Como resultado, os autores demonstraram que, para todos os prédios,

o consumo total de energia diminuiu com o controle liga e desliga (on/off) das luzes, em relação inversamente proporcional ao ângulo de inclinação das persianas; porém com o controle de diminuição das luzes, o consumo total de energia aumentaria em relação diretamente proporcional com a inclinação das persianas. O controle do sombreamento com o controle da diminuição da iluminação é o melhor caso para a fachada leste e oeste do prédio. Os autores concluem (*op. cit.*) que, a energia para resfriamento é inversamente proporcional à energia para aquecimento e iluminação. Se o sombreamento é controlado para minimizar a carga de resfriamento isto pode afetar e incrementar a energia para a iluminação. Porém a estratégia do controle pode diferir por questões de prioridade ou sazonal.

Al-Tamimi e Fadzil (2011) usaram *Brise soleil* horizontais, verticais e combinados para proteger a envoltória dos prédios da cidade de Penang que tem os valores mais altos de radiação solar na Malásia. Os autores (*op. cit.*) obtiveram como resultado, um impacto significativo no melhoramento das condições térmicas nos espaços ventilados e não ventilados. O sistema de *Brise soleil* combinado apresentou os melhores resultados na redução da temperatura interna e da quantidade de horas de desconforto, devido à sua configuração mista horizontal e vertical, que evita a radiação solar em diferentes ângulos. Na comparação das habitações a melhoria no número de horas de conforto (inferior à 28,6°C) foi de 26% e 4,7% em espaços não ventilados e ventilados respectivamente.

Cho, Yoo, e Kim (2014) avaliaram a aplicação de proteções solares exteriores (vide Figura 2.3) para edifícios arranha-céus residenciais, com o objetivo de medir sombreamento-solar/iluminação-natural para diminuir os custos com a energia. Os autores (*op. cit.*) utilizaram diferentes combinações de *brise soleil* (horizontal, vertical, painel), com orientação (sul, leste, oeste) e variação da profundidade e espaçamento, a cada 200 mm (vide Figura 2.3). Como resultados da proteção solar/iluminação-natural, o elemento (tipo B) obteve uma relativa superioridade no comportamento, para todas as orientações. Os elementos verticais (tipo D) não obtiveram um bom desempenho, enquanto o modelo horizontal (tipo B) provocou interferência visual. O modelo horizontal simples (tipo A) e o painel vertical (tipo E) obtiveram os melhores resultados nas duas considerações avaliadas. Com relação ao consumo de energia no prédio, a máxima economia de energia foi 19,7% com a proteção horizontal e 17,3% com a proteção vertical. Na análise da viabilidade econômica, os resultados dos autores demonstraram que, o período de retorno (*payback*) para a instalação dos elementos horizontais seria de 3,4 anos e dos elementos verticais, seria de 8,7 anos. Ressalta-se que, seria possível substituir o uso de vidros (mais onerosos) de alto-desempenho, com o uso de elementos de proteção solar.

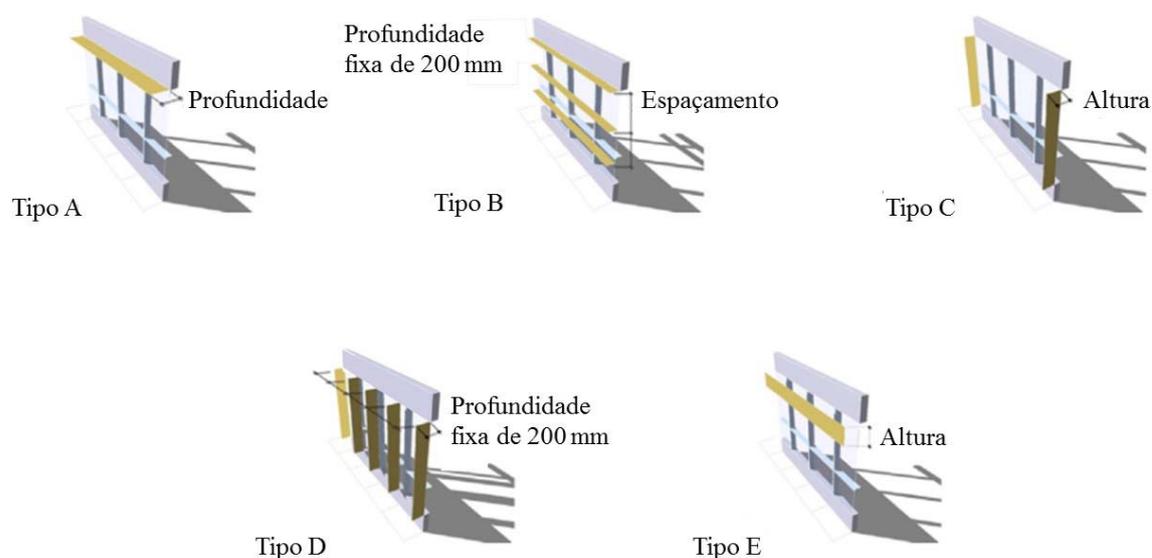


Figura 2.3-Diferentes proteções solares.

Fonte: Cho, Yoo, e Kim (2014)

2.3.2 Uso dos pátios interiores

Os pátios interiores foram trazidos à região do presente estudo pelos colonizadores portugueses, configurando uma solução construtiva que cumpre várias funções dentro das edificações, e que foi paulatinamente eliminada pelo advento dos equipamentos de ambientação. Entretanto, pelas suas funções e as novas leis de eficiência energética no mundo, tem sido recuperado seu uso como medida de solução aos diversos problemas de iluminação e ventilação natural. A seguir, são apresentados os resultados de uma série de trabalhos que descrevem as diferentes funções deste tipo de solução passiva.

Jamaludin et al. (2014) estudaram um prédio com pátio interior. Dentro dos resultados, a presença de árvores em torno ao edifício teve importância, com resultados positivos para as habitações que ficavam sob estas. Estas apresentavam as temperaturas mais baixas e umidade relativa mais alta, quando comparadas com as que ficavam direto ao espaço aberto. A ventilação durante todo o dia (24 h) foi capaz de proporcionar melhores condições interiores nas habitações escolhidas. Os casos de ventilação noturna (8:00 PM até 7:00 AM) e não ventilação apresentaram comportamentos diferentes tendo a temperatura interior, mais alta que a exterior apresentando condições de melhor temperatura registrada: tendo valores inferiores de 30°C. Quanto aos casos de ventilação diurna (7:00 AM até 8:00 PM), ventilação durante todo o dia e sem ventilação, os autores (*op. cit.*) apresentaram como resultado final, uma efetividade da ventilação natural no prédio na seguinte ordem: ventilação noturna > ventilação diurna > ventilação tudo o dia > não ventilação.

Almhafdy et al. (2013) estudaram os diferentes projetos de pátios interiores nos hospitais de Malásia. Como resultado obtiveram 4 tipos principais de pátios interiores: fechados, abertos, em grupos e interligados. A maioria deles está orientada para o Leste e Oeste, para evitar a radiação direta do sol. Os pátios com orientação norte e sul têm mais andares nos lados leste e oeste, que evitam a incidência direta da radiação solar. Os pátios mais usados pelas pessoas são os que possuem dispositivos de proteção solar na forma de extensão do teto.

Sharples e Bensalem (2001) pesquisaram os pátios interiores e concluíram que a ventilação é precária principalmente, quando pátio é aberto e não possui um diferencial de altura com posição perpendicular à direção do vento como é mostrado no modelo A1 da Figura 2.4 e Figura 2.5. Quando o pátio está coberto com uma superfície porosa e com desníveis na altura, cria-se um campo de pressão no teto e provoca-se uma forte ventilação devido ao diferencial de pressão criado como se mostra no modelo A6 da Figura 2.4 e Figura 2.5. Nestes casos, funcionaria melhor quando o pátio está orientado perpendicularmente com a direção do vento, embora o rendimento para 45° fosse e quase o mesmo que no caso em perpendicular (0°).

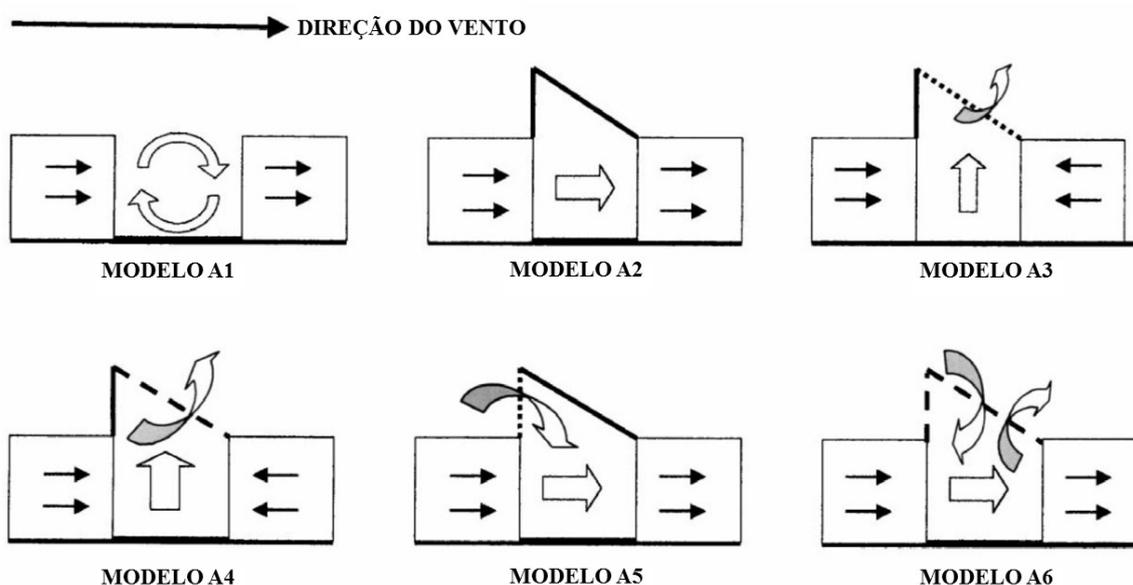


Figura 2.4-Diferentes modelos de pátios pesquisados.

Fonte: Sharples e Bensalem (2001)

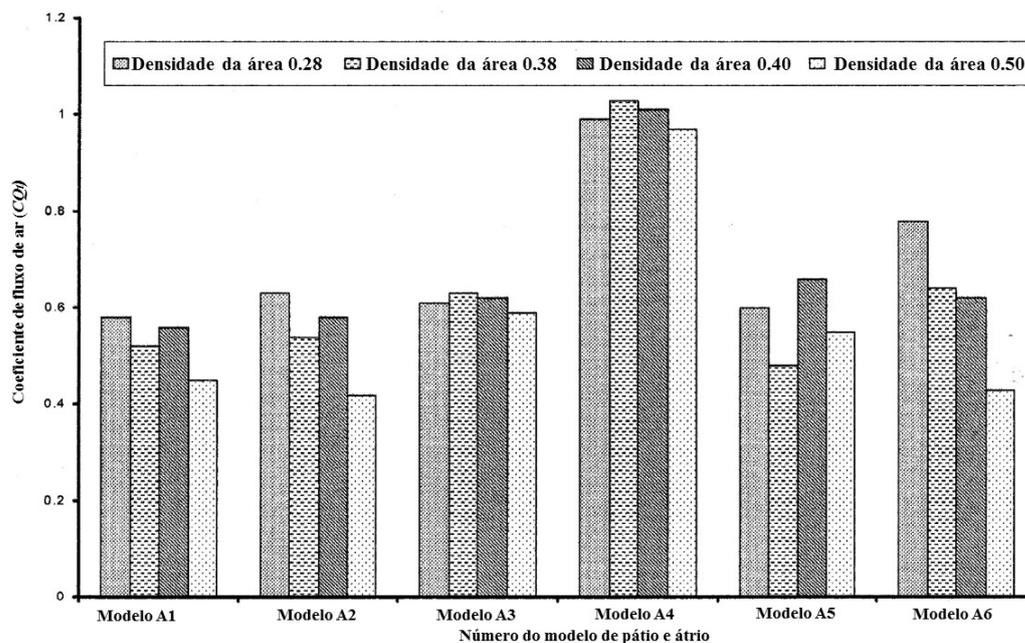


Figura 2.5-comportamento do fluxo do ar nos diferentes modelos de pátios testados.

Fonte: Sharples e Bensalem (2001)

Aldawoud (2008) analisou um pátio interior quadrado fechado (só na vertical) e testou nele diferentes condições climáticas, altura, tipo de vidro e percentagem destes materiais nas fachadas. O autor concluiu (*op. cit.*) que o comportamento energético do pátio depende de muitas variáveis. O comportamento térmico do pátio variou em função das diferentes configurações testadas em vários graus, mas sempre com efeito positivo. Os melhores resultados obtidos foram para os climas quentes secos e quentes úmido e os piores para os climas temperados e frios.

Aldawoud e Clark (2008) compararam o comportamento energético de um átrio com um pátio interior rodeados por edifícios por todos os lados, com as mesmas dimensões e forma geométrica. Para as modelagens efetuadas, foram variadas a altura, a porcentagem e o tipo de vidro nas fachadas adjacentes a estes. Os dados para o clima foram de diferentes características (frio, temperado, quente seco e quente úmido). O melhor comportamento como opção energeticamente mais eficiente foi apresentado pelo pátio aberto para todos os climas nos prédios com pouca altura. Mas, na medida em que os prédios foram aumentando na altura, o átrio foi tornando-se mais conveniente. Porém, o ponto ótimo depende de muitos fatores não estudados no estudo de Aldawoud e Clark (2008).

Berkovic, Yezioro, e Bitan (2012) estudaram o conforto térmico de três configurações diferentes de pátios interiores durante o verão. Foram usadas três estratégias para gerar sombra: árvores, aberturas de circulação e galerias. Como resultado, os autores (*op. Cit.*) obtiveram que:

- No pátio fechado, a diferença de temperatura entre as áreas com e sem sombra foi 0,5°C, porém, foi obtida uma redução significativa de Temperatura Radiante Média (TRM) nas áreas sombreadas (30°C) relativa às áreas sem sombra.
- A colocação no eixo N-S das árvores ou no meio do pátio obtiveram o mesmo rendimento térmico no conforto.
- Nas aberturas aplicadas no modelo (no andar térreo) aquelas de menor altura (3m comparadas com 5m) permitiram menores valores de calor e radiação.
- Para manter a temperatura estável dentro do prédio, foi conveniente a adição de corredores.

Safarzadeh e Bahadori (2005) avaliaram energia em um pequeno prédio com diferentes variantes por meio do uso de um *software* de análise energética. Foi obtido como resultado que:

- O pátio diminuiu em pouca magnitude o consumo de energia para resfriamento e incrementou a necessária para aquecimento.
- As medidas para conservação como o isolamento, janelas de duplo vidro e fitas para selagem evitou mais o consumo de energia para resfriamento (47%) que o pátio evitaria, e obteve um resultado positivo também para o consumo de energia para aquecimento (76,8%).
- O uso de árvores, arbustos e gramados acarretaram na diminuição de consumo de energia para resfriamento de 50,5%. O consumo para aquecimento aumentou em 10,9%.
- Com o uso de todas as técnicas mencionadas, a economia de energia em resfriamento seria um total de 59% e no aquecimento seria de 86,2%.

Yaşa e Ok (2014) estudaram o comportamento dos pátios interiores ao longo do ano e as características principais destes em relação à proporção e rendimento. A melhor proporção que um pátio poderia ter é que no verão receba a menor radiação possível e no inverno, a máxima. Desse modo, enquanto mais áreas das paredes recebam radiação, mais energia para resfriamento será necessária ao contrário do inverno, em que menor energia vai ser necessária para aquecimento. Geralmente, o efeito do sombreado quando é requerida a carga de calor no inverno é maior do que a carga de frio necessária no verão. Por essa razão, é mais importante obter um resultado positivo no inverno que no verão, ou seja, a radiação direta do sol é mais importante nos pátios durante o inverno, que o sombreado durante o verão. Se a forma do pátio é mais retangular, a energia anual requerida é maior, mas na medida em que o pátio vai se tornando mais quadrangular, a área sombreada vai ficando maior e, o aumento do consumo de

energia no período de inverno vai diminuindo. Geralmente, o consumo de energia aumenta quando a direção do vento predominante fica na mesma direção do lado mais longo do pátio.

2.3.3 Ventilação natural

As áreas translúcidas (aberturas laterais e zenitais) é o elemento que provoca a maior quantidade de ganho de calor solar nos prédios. Ao mesmo tempo, esta proporciona aos ocupantes, luz natural e vistas ao exterior. Janelas grandes proporcionam muita luz natural, o que pode ser uma fonte de eficiência de energia; porém, permite a entrada da indesejável radiação solar. Em razão disso, a combinação de iluminação natural com elementos de proteção solar deve ser levada muito em consideração.

Huang, Niu, e Chung (2014) estudaram dois modelos diferentes de janela articulada de vidro para definir a mais eficiente no que concerne à iluminação natural e na ventilação. Segundo este estudo as áreas grandes de janelas, além de proporcionar uma boa iluminação natural, permitem a entrada de radiação solar incrementando a temperatura interior até níveis indesejados. Em função disso, extensas áreas de janelas devem ser combinadas com proteção solar. Os autores (*op. cit*) testaram ou dois tipos de janelas: uma com vidro de baixa energia (*low-e*) e outra com vidro duplo.

- Nas duas avaliações - térmica e iluminação natural - os melhores resultados foram para a janela com *low-e*.
- A orientação e geografia como elementos de importância essencial nos temas avaliados foram ressaltados pelos autores (*op. cit*). Em climas frios, é melhor o comportamento da iluminação e ventilação natural provocada pelas janelas com orientação leste e oeste. O pior comportamento foi para a orientação norte.
- Nas áreas com latitude baixa, são notadas as diferenças entre as orientações, mas na medida em que a latitude aumenta, a diferença é quase imperceptível.
- A baixa refletividade do vidro é o fator chave, pois quanto maior melhor é o desempenho da janela.

Von Grabe, Svoboda, e Bäumlér (2014) realizaram testes com diferentes modelos de janelas usadas na Alemanha, comprovando a variabilidade da eficiência na ventilação. A “janela c” (vide Figura 2.6) que é usada com frequência na Alemanha apresentou a pior performance dentre os modelos testados. Com a área usual de 2200cm², a “janela c” (vide Figura 2.6) com uma inclinação de 10 cm como a “janela a” e “janela e” (vide Figura 2.6) mostrou uma eficiência na ventilação maior em um fator entre 2 para 2,5, dependendo do fluxo de ar.

Segundo a pesquisa de Von Grabe, Svoboda e Bäumlér (2014), a alta eficiência em ventilação é vantajosa em muitos sentidos:

- Quanto maior a ventilação na janela, mais curtos são os períodos de limpeza do ar necessários .
- Isto faz uma diferença importante em áreas urbanas pelo conforto dos ocupantes: pequenos períodos de abertura reduzem o ruído, melhora a concentração dos ocupantes no trabalho e proporciona mesmo assim igual qualidade no ar.
- Em algumas situações, a escolha adequada do tipo de janela pode evitar o uso de um sistema de ventilação mecânico, que é a solução mais comum para evitar o ruído nos ambientes urbanos.
- Com relação ao conceito de ventilação noturna, o comportamento depende da eficiência de ventilação e do tipo de janela. As janelas com alta eficiência de ventilação têm que apresentar a capacidade de aproveitar melhor o potencial da massa térmica e as grandes diferenças de temperatura no dia. Porém, a ventilação eficiente da janela é só uma das características dentre outras, para a escolha do tipo de janela. Como efeitos adicionais, a janela tem que proteger da chuva, da velocidade do vento ou da estanqueidade do ar, quando ela está fechada. Mas os testes destes outros aspectos não foram analisados na pesquisa de Von Grabe, Svoboda e Bäumlér (2014). No entanto, pelo menos em termos de proteção da chuva e estanqueidade, a “janela e” (vide Figura 2.6) tem a vantagem, comparativamente à “janela a” (vide Figura 2.6).

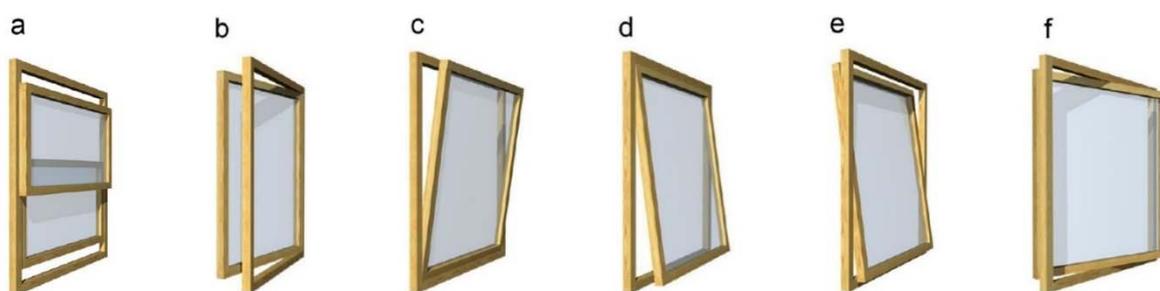


Figura 2.6- Os 6 modelos de janelas de a até f estudados pelos autores (*op. cit.*).

Fonte: Von Grabe, Svoboda, e Bäumlér (2014)

Yang et al. (2014) realizaram simulações com Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e medições de campo para avaliar a efetividade da ventilação natural nos espaços de escritórios de um prédio administrativo com pátio interior “*Central Ventilation Shaft*” (CVS conforme siglas em inglês). Para investigar a influência do projeto no comportamento da ventilação, os

autores (*op. cit.*) também mostraram a distribuição da *taxa de troca de ar por hora* (ACH conforme siglas em inglês), *voto meio prognosticado* (PMV conforme siglas em inglês) e *padrão adaptativo de conforto* (ACS) sobre os espaços de oficinas sem e com CVS, mas, com a metade da área. Os resultados foram:

- Incremento significativo do valor de ACH acima do 56,5%, introduzindo o projeto de um CVS em um prédio, para melhorar o comportamento da ventilação.
- A ventilação deteriorou-se com a diminuição do ACH a 13,5%, no caso da diminuição pela metade do CVS.
- As previsões de PMV e de ACS indicaram valores médios mais baixos na temperatura interior. O PMV e ACS mais uniformes e a distribuição de ACS mostraram os satisfatórios estados térmicos em quase toda a área de oficinas do prédio, tendo o CVS.
- Os cálculos de PMV e ACS revelaram altos valores distribuídos pelas áreas de oficina, sugerindo condições de conforto desagradáveis, expressadas pelos ocupantes no prédio sem o CVS.

Este estudo mostra a importância da interação efetiva do fluxo físico do vento da simulação CFD com o projeto conceitual para alcançar a meta de alta qualidade de avaliação e melhoria do projeto de prédios.

Faggianelli et al. (2014) revisaram diferentes maneiras de uso da ventilação natural em prédios com destaque na ventilação cruzada. Foi demonstrado pelos autores (*op. cit.*) que, com uma moderada e suave variabilidade na velocidade do vento combinado com uma direção bem definida e temperaturas favoráveis, torna-se permitido estabelecer ótimas estratégias, para uma ventilação confortável e para resfriamento passivo da ventilação na noite. Faggianelli et al. (2014) propõem o desenvolvimento de indicadores, para avaliar o potencial de um lugar para o uso do sistema tradicional de ventilação natural cruzada, sem a necessidade de complexas simulações computacionais. É utilizada a Rosa dos Ventos (determinada por método estatístico), para ter mais informações dos setores principais com vento, a flutuação da velocidade e um grupo de radares de plotagem, com a informação dos principais indicadores do clima, visando-se obter a ventilação confortável de modo passivo.

Pesquisou-se a taxa de fluxo de ar com medições de gases marcadores em um edifício a beira-mar em Córsega. Obteve-se como resultado notável, a alta taxa de ar registrada durante o dia e necessidade do controle da mesma. Por meio do uso de um modelo empírico, foram estudadas as variações da taxa do fluxo de ar com aberturas de superfícies e foi demonstrado que é possível

manter um fluxo de ar confortável com o simples controle das aberturas. Mesmo o fluxo de ar variando todo o dia, a facilidade do controle é permitida pela regularidade das brisas. Pequenas trocas no ângulo de inclinação das aberturas por dia foram suficientes para manter a taxa de fluxo de ar em uma pequena faixa de variação de $\pm 0,5$ ACH. Embora no período no qual o fluxo possa ser controlado através de abertura fixa ou ângulo definido da persiana, o desafio é detectá-lo em tempo real (FAGGIANELLI ET AL. 2014).

Oropeza-Perez e Ostergaard (2014) procuraram o potencial de economia energética no uso da ventilação natural, por meio do uso de um programa de simulação de fluxo de ar, em um país de clima quente como México. Por meio de uma análise de sensibilidade, os autores (*op. cit*) descobriram que a eficiência da ventilação natural em condições quentes seria afetada pelos seguintes dados e nesta ordem:

- Condições climáticas, horário de abertura da janela, materiais de construção, área construída e número de ocupantes.
- A potencialidade para a economia de energia usando ventilação natural é maior quando os materiais da construção têm uma alta capacidade de resistência ao calor e a construção está localizada em um clima quente-seco.
- Em clima quente-úmido, a baixa capacidade de calor dos materiais e a ventilação natural ajudam na diminuição da temperatura interior da construção.
- A ventilação natural pode ser menos aplicável em condições muito úmidas.
- Especificamente em condições quente-úmidas, mais de um 80% das habitações tem alta capacidade de retenção de calor, fato que não é bom para alcançar o conforto térmico.
- Para prédios novos, é recomendável considerar materiais de baixa capacidade térmica como: telha de barro e teto corrugado.

Oropeza-Perez e Ostergaard (2014) definiram que para todos os casos, habitações com alta capacidade térmica têm as mais baixas temperaturas internas durante o dia. Porém, habitações de baixa capacidade térmica têm a temperatura mais baixa durante a noite, o que pode provocar em demanda de energia para aquecimento durante o inverno. Além disso, os resultados dos autores (*op. cit.*) são baseados em dados de condições externas e comportamento dos usuários. Portanto, dependem dos dados reais das condições externas, projeto do prédio, e comportamento dos ocupantes, também dos efeitos do ambiente exterior, aspereza da paisagem, velocidade do vento, projeto da janela, funcionamento das proteções solares e fontes de calor internas. No entanto, os resultados mostram o potencial preciso para analisar a viabilidade do

uso da ventilação natural cruzada em lugar do ar condicionado, com a intenção de obter benefícios econômicos e ambientais, em países com climas quentes.

Zhou et al. (2014) estudaram o comportamento da ventilação natural em prédios arranha-céus de vivendas. A otimização das fenestrações junto com ajuste da orientação das fachadas do prédio, criou caminhos para o vento ao nível de espaço de habitação. Simulações numéricas (por meio do uso de um *software*) acerca do tempo e da taxa de troca do ar nas habitações de fluxo dinâmico mostraram que se otimizou a ventilação natural.

Os autores (*op. cit*) comparam o comportamento da ventilação otimizada com o projeto convencional, usando CFD. A análise foi realizada para edifícios arranha-céus em uma cidade chinesa com um clima que regularmente não é favorável para ventilação natural. No projeto otimizado, o tempo de troca do ar em um andar padrão foi inferior a 6 min em 90% das habitações e no projeto convencional, foi maior que 30min em 50% das habitações, e em razão disso, a ventilação natural pode ser usada em edifícios residenciais.

Os dois tipos fundamentais de ventilação são a forçada e a natural Ivings (2008). A ventilação forçada é o movimento do ar causado por meios mecânicos, como ventiladores, exaustores etc. Estes são usados normalmente em espaços fechados e são aplicados na forma de ventilação geral em todo o espaço ou em forma localizada, para diminuir odor ou altas temperaturas. A ventilação natural pode ser definida como o movimento do ar causado pela força natural do vento e pelos efeitos da temperatura dentro do prédio. Nos casos das áreas abertas ou semiabertas é um método usual de ventilação. Suas causas principais são:

- As diferenças da pressão estática causadas pela diferença de temperatura entre o ar interior e exterior do prédio.
- Pressão do vento.
- Combinação dos dois fatores.

Os espaços fechados podem ser ventilados de forma natural. Entretanto, sabe-se que a ventilação natural depende das condições do clima, e que em geral, não podem ser controladas.

A ventilação provocada pelo vento pode ser com as janelas de um lado apenas (por uma ou duas janelas, mas, colocadas apenas em uma mesma fachada) ou ventilação cruzada, que é a mais efetiva. A ventilação provocada pela flutuação do ar pode ser assistida por exaustores, torres de vento, claraboias, estufas ou pela fachada.

Como características chaves para a ventilação natural deve-se prever na concepção de projeto:

Risco de projeto: deve-se ter atenção ao tamanho e localização das aberturas e no seu controle.

Controle do usuário: os usuários têm que ter o controle da abertura das janelas. Não é possível controlar a temperatura e umidade pelo fechamento da janela.

Controle total: ter o verdadeiro controle da temperatura e umidade é impossível.

Custo total: o custo é altamente influenciado pela complexidade da janela ou do projeto da ventilação e pela forma que o prédio necessitaria apresentar para ter um bom desempenho na ventilação natural.

Custo de funcionamento: janelas automáticas incluiriam custos de manutenção.

Flexibilidade: mais difícil de obter nos casos em que são introduzidas muitas divisões no espaço. Se o ganho de calor aumenta em demasia a ventilação natural pode ser insuficiente.

Previsibilidade: o comportamento pode ser modelado na teoria, mas, na prática depende da variação do clima e da velocidade dos ventos.

Ruído: a transmissão do ruído interior e o ruído exterior não podem ser controlados.

Polução no ambiente: a filtração do ar é muito difícil devido à queda de pressão envolvida.

A ventilação natural provocada pelo vento é causada pela variação de pressão que atua através das superfícies externas (paredes, teto) do prédio. A distribuição de pressão depende de:

- O terreno
- Obstruções locais
- A velocidade do vento e sua direção relativa ao prédio
- A forma do prédio

Conclusões do capítulo

A bibliografia utilizada forneceu conhecimento necessário para desenvolver os objetivos fixados neste trabalho. Como pontos mais importantes das soluções passivas estudadas podemos dizer que:

- Brise soleil

Garantem boas condições térmicas ambientais interiores e consegue importantes níveis de economia de energia de até 20% em regiões quentes com relação à refrigeração. Pode mitigar em certa medida a orientação errada das fachadas.

Em análise da viabilidade econômica, os resultados demonstraram que, o período de retorno (*payback*) para a instalação destes na posição horizontal poderia ser de 3,4 anos e na posição vertical, de 8,7 anos.

A eficiência destes tem a ver diretamente com a orientação do prédio sendo que: quando a fachada mais extensa do prédio não está orientada para o norte ou sul, o rendimento do *Brise soleil* diminui em 5 % , de acordo com Ivings (2008).

- Pátio interior

O tipo de clima de incide na efetividade deste como solução passiva de eficiência energética sendo os melhores: os climas quentes secos (como a cidade de Itajubá) e quentes úmido.

A melhor orientação para estes é o Leste e Oeste (os maiores lados) colocando dispositivos de proteção solar na forma de extensão do teto e com desníveis nos lados norte e sul para evitar a incidência direta da radiação solar.

Ele funciona melhor como solução passiva de eficiência energética em prédios de pouca altura.

A forma dele influi no seu comportamento sendo a quadrangular a mais recomendada e se fosse retangular a direção do vento deve ficar perpendicular ao lado mais longo do pátio.

- Janela

A potencialidade como solução passiva de ventilação natural aumenta quando é usada em um clima quente-seco.

O seu uso em extensas áreas deve ser combinado com proteção solar.

Se esta é de vidro deve ter uma alta refletividade como fator chave, pois quanto maior é esta característica, melhor é o comportamento da janela.

Para um 100 % de efetividade de esta, a orientação e forma do prédio é fundamental.

É indispensável para criar a ventilação natural, mas depende das condições do clima, e que em geral, não pode ser controlado.

Esta provoca ventilação natural colocando-a de um lado apenas (por uma ou duas janelas, mas, colocadas apenas em uma mesma fachada), porém sua efetividade é muito maior se colocadas em paredes opostas criando a ventilação cruzada.

- Como ponto mais importante do RTQ-C conclui-se que:

É uma ferramenta de fácil aplicação e oferece a vantagem de testar energeticamente partes específicas do prédio avaliando a parte formal da fachada e a volumétrica.

- O mais importante da ABNT NBR ISO 50001 é que:

Permite elaborar uma metodologia para avaliar energeticamente qualquer empresa ou instituição sem importar o tamanho desta, visando interesses específicos.

3 CARACTERIZAÇÃO DO PRÉDIO.

As características gerais e específicas do prédio objeto de estudo, descritas neste capítulo, são de vital importância para executar os cálculos de transmitância térmica dos componentes da fachada e análises volumétricos do prédio junto com o comportamento do prédio respeito à trajetória do sol na abóboda celeste. Estas características fornecem um entendimento mais detalhado da construção e os principais problemas da edificação atualmente.

3.1 Caracterização geral

O prédio pertence ao *campus* da Universidade Federal de Itajubá, campus Itajubá, Minas Gerais. Foi um dos primeiros prédios construídos na instituição de ensino. Nele estão os institutos de Química, Física e Matemática. Na Figura 3.1 é possível observar a sua posição dentro do campus. As coordenadas do prédio são:

LATITUDE: 22°24'51.98"S

LONGITUDE: 45°26'54.86"O



Figura 3.1-Localização geral do prédio.

Fonte: Google Earth.

O prédio tem forma de U com reentrâncias e saliências (vide Figura 3.2). É formado por dois andares e o acesso se dá através de um pátio e, portanto, não tem fachada principal definida. O acabamento das paredes externas é rústico em sua totalidade. Além do pátio de acesso que apresenta maior área, o prédio possui 4 pátios internos, sendo apenas um deles utilizado como parque. A maior quantidade de espaço no interior do prédio está dedicada à circulação (vide Figura 3.2 e Figura 3.3).

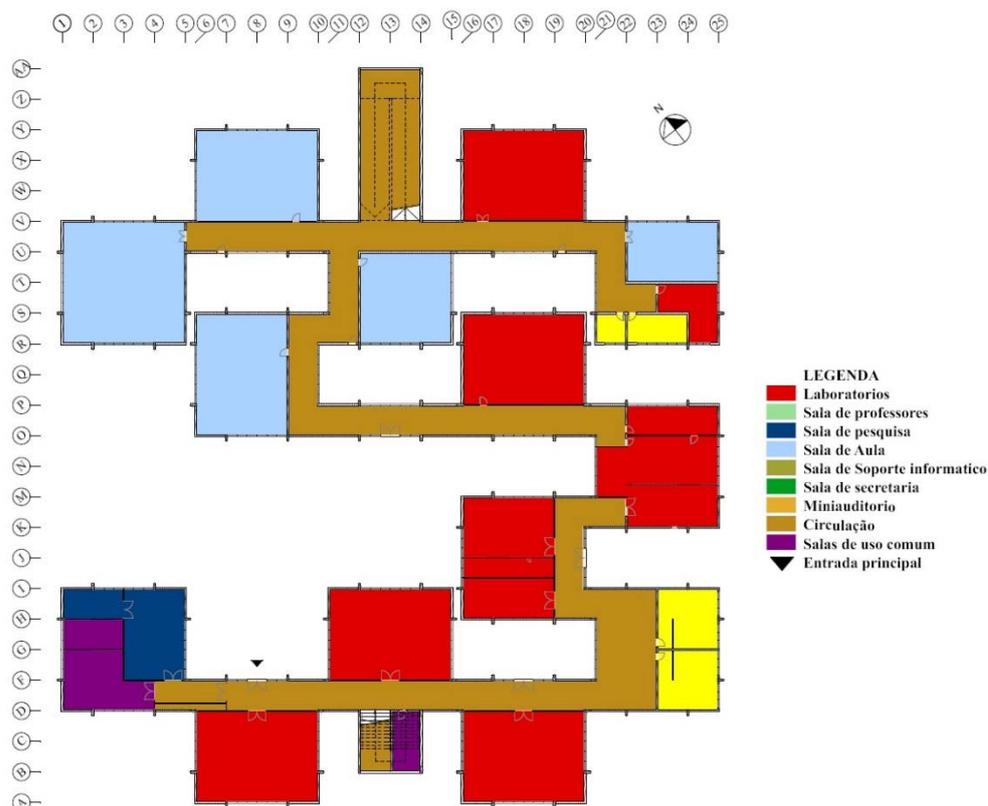


Figura 3.2-Andar térreo.

O andar térreo (Figura 3.2) é dominado pelas áreas de laboratório que ocupam o 36 %, a circulação com o 30 %, as aulas com o 22 %, já as outras funções como é as salas de pesquisadores e de uso comum ocupam um pequeno espaço que no total somam o 11 % (Tabela 3.1). No primeiro andar (Figura 3.3) as funções dos espaços variam, mas a área disponível é igual ao andar térreo. A maior área é dedicada as salas dos professores com o 35 % seguido pela área do corredor com o 33 %, as salas dos laboratórios com o 15 % e as salas de pesquisadores com o 5 % os outros espaços de uso comum somam 11% (Tabela 3.1) igual ao andar térreo.



Figura 3.3- Primer andar.

Tabela 3.1-Área por tipo de espaço

Tipo de espaço	Área por tipo de espaço: andar térreo (m ²)	Área em %	Área por tipo de espaço primeiro andar (m ²)	Área em %	Área por tipo de espaço (m ²) total
Sala de Laboratórios	769,5	36	310,15	15	1079,65
Sala de professores	-	-	727,97	35	727,97
Sala de Pesquisadores	69,12	3	108,51	5	177,63
Sala de Aulas	476,98	22	-	0	476,98
Sala de Técnico	-	-	8,48	0	8,48
Sala de Secretaria	-	-	112,17	5	112,17
Auditório	-	-	52,14	3	52,14
Banheiros (WC)	90,78	4	48,94	2	139,72
Circulação	641,68	30	672,64	33	1314,32
Comum	76,17	4	16,24	1	92,41
TOTAL	2124,23	100	2057,24	100	4181,47

Todas estas informações foram realizadas por intermédio de levantamento “as built”. A prefeitura do campus da UNIFEI forneceu as plantas em formato digital do prédio, mas constatou-se como levantamento de dimensões reais que tais desenhos sofreram atualizações.

3.2 Características específicas

Estrutura: A estrutura está organizada com base em uma grade conformada por eixos espaçados a cada 3 m nas abscissas (com números) e as ordenadas (com letras) como é possível visualizar na Figura 3.2 e Figura 3.3, o que dá uma liberdade de espaço mínimo sem coluna de 9 m² e máximo de 139,24 m². A estrutura é de coluna e viga com laje no entpiso e na cobertura. Todos estes componentes são de concreto reforçado com aço provendo rigidez à estrutura. As paredes não trabalham como suporte estrutural, tendo só o papel de fechamento e divisão de espaços. Esta característica permite transformações exteriores na fachada e no interior do prédio sem comprometer a estabilidade estrutural do prédio. A altura do pé direito logo abaixo da viga é de 2,87 m nos dois níveis.

Orientação: possui azimute da fachada 52,01°N. Isto define a orientação das fachadas como: nordeste, sudeste, sudoeste, noroeste sendo esta última a fachada principal. É uma construção isolada por não ter contato direto com nenhuma outra edificação, assim recebe a radiação direta do sol o ano todo. A orientação do prédio provoca a insolação de todas suas paredes em algum momento do dia pelo que em todas as épocas do ano o sol esquenta as paredes e entra a luz natural junto com a radiação dentro dos espaços que o conforma. Isto provoca uma elevação da temperatura interna dos espaços em uma hora determinada do dia, de acordo com a localização do espaço tendo como solução atual o uso de cortinas, ar condicionado ou ventiladores para diminuir o calor dentro do espaço.

3.2.1 Envoltória

Parede: é composta por tijolo de 6 furos de 190 mm de largura e duas camadas de reboco de 20 mm de largura na parte exterior e no interior. A parte externa tem mais duas camadas, uma delas de argamassa com 15 mm de largura e outra é um revestimento cerâmico de 10 mm de largura. O acabamento interno foi feito com argamassa fina e pintado na cor branca. A *transmitância térmica da parede* (U_{par}) tem valor de $U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ isto nada mais é, o quanto de radiação exterior atravessa à parede e chega até o interior dos espaços, em relação a quanto de radiação incidiu nela; é a capacidade de qualquer material de ser atravessado por um fluxo de calor. Este valor foi obtido seguindo a metodologia da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2003) apresentada no anexo 1 deste trabalho. O total de área de fachada é de 4732,056 m² com 3352,167 m² de parede e 1379,889 m² de janelas feitas de vidro de 4 mm com enquadramento de alumínio. Na

Tabela 3.2 são apresentados os valores da condutividade térmica dos materiais que conformam a parede.

Tabela 3.2-Conductividade térmica de alguns materiais conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Material	Condutividade térmica (λ) W / (m K)
Cerâmica	0,9
Argamassa	1,15
Reboco	1,15

Cobertura (teto): é de concreto reforçado com 70 mm de espessura, tem uma área total de 2288,83 m² com sobre de telhas de zinco que fazem a função de coletor de água de chuva com uma queda do 3,3%. O valor da *transmitância térmica da cobertura* (U_{cob}) é de $U_{cob}=2,174W/(m^2 \cdot K)$ e foi calculado utilizando a metodologia da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Não foi possível reconhecer se a coberta tinha algum outro componente interno além da estrutura de sustentação das telhas de zinco, alguma espécie de isolante térmico ou outra coisa além do descrito anteriormente por falta de informação por parte da prefeitura do campus. Foi feita uma inspeção pessoal no local, mas só foi visual e superficial pelo perigo de causar algum dano na impermeabilização na hora de inspecionar e outras questões de segurança.

Iluminação natural: O prédio em geral tem um 29% da área da fachada. A maior parte dos espaços do prédio tem entrada de luz natural, as maiores áreas de janelas se encontram nos laboratórios com um 26,5%, nos corredores com um 24,8%, nas salas dos professores e as aulas com um 24,9% e 10,9% respectivamente e já os banheiros têm menos entrada pela pequena área de janela que possuem. Na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** está a área de janela que possuem em geral os diferentes tipos de espaços que conformam o prédio. Na Figura 3.3 é possível notar um detalhe importante nas salas de pesquisa que estão marcadas na cor azul e ficam no interior do prédio, estes por estar em uma posição central rodeada de outros espaços a iluminação natural não é recebida diretamente do exterior do prédio o que demanda o uso de iluminação artificial para uma melhor acuidade visual. Outra característica importante é os corredores de acesso as salas dos laboratórios, rodeados de outros espaços que impossibilitam a entrada de iluminação natural o que provoca também o uso de iluminação artificial. Outro aspecto para ter em conta é o uso dos pátios interiores, estes existem para conectar o exterior com o interior dentro dos prédios de grandes áreas fechadas, mas, neste caso não são utilizados

ao 100% deixando paredes completamente fechadas que poderiam criar mais área de luz natural. Nos espaços com grandes áreas de janelas o sol incide diretamente, o que provoca a entrada de luz e eleva a carga térmica nos espaços. Para tanto a solução de proteção adotadas consistem em cortinas (solução simples), mas não é a mais adequada pois elas embora evitem a entrada da iluminação, este dispositivo de proteção é interno ao recinto, e sendo assim, não evita a entrada da radiação infravermelha pelas superfícies transparentes (vidro).

Tabela 3.3-Área de janelas por tipo de espaço

Área de janela por espaço		
Espaço	Área de janela (m ²)	Área de janela (%)
Aula	150,423	10,9
Laboratório	365,313	26,5
Corredor	341,945	24,8
Sala prof.	343,987	24,9
Secretaria	50,141	3,6
Banheiro	12,835	0,9
Auditório	21,489	1,6
Sala mestrado	64,467	4,7
Almoxarifado	29,452	2,1
Total	1380,052	100

Ventilação natural: O vento incidente sobre prédio cria uma zona de alta pressão na perpendicular à sua direção, rodeia a construção e acarreta em zonas de baixa pressão nas laterais e na parte posterior (vide Figura 3.4), criando assim de forma natural um fluxo de entrada nas zonas de alta pressão e de saída pelas zonas de baixa pressão, pelo que é muito importante a eleição certa da posição das janelas.

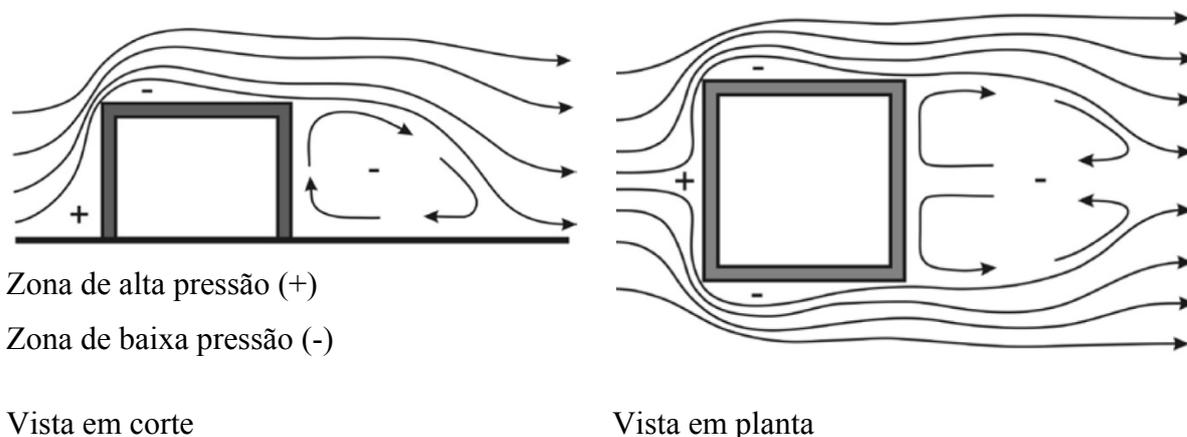
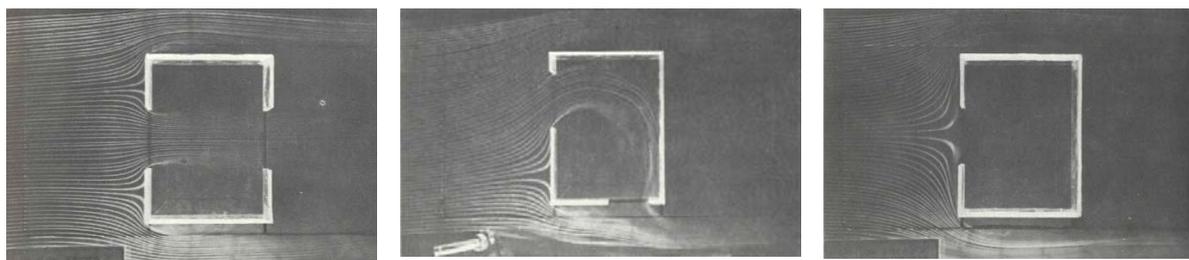


Figura 3.4-Zonas de pressão causadas pelo vento

Em geral, quase todos os espaços possuem janelas do prédio estudado, entretanto nem todos estão bem ventilados. Principalmente, Nas salas de aulas existe ventilação natural por ter janelas em paredes opostas, ou em paredes adjacentes criando um fluxo de entrada e saída do ar como é mostrado na Figura 3.5 *a* e *b*. Mas, nas salas dos professores por ter janelas unilaterais não é possível criar um fluxo de ventilação natural como observado na Figura 3.5 *c* o que demanda o uso de equipamento elétrico para a ventilação, fundamental para melhorar o conforto térmico.



(a) Ventilação cruzada

(b) Ventilação diagonal

(c) Ré ventilação

Figura 3.5 principais tipos de ventilação

Fonte: Olgyay, (1963)

3.2.2 Áreas.

Para obter as áreas do prédio foi feita uma inspeção e medição *as built* pessoalmente a partir das plantas, cortes e elevações em formato digital, fornecidas pela prefeitura do campus da UNIFEI. Estas foram comprovadas no local tendo algumas diferenças nas subdivisões internas devido às mudanças no uso dos espaços pelo que os planos necessitaram de algumas atualizações especificamente nos blocos 01, 05 e 06 do andar térreo e nos blocos do banheiro, 07 e 08 do primeiro andar (vide Figura 3.6).

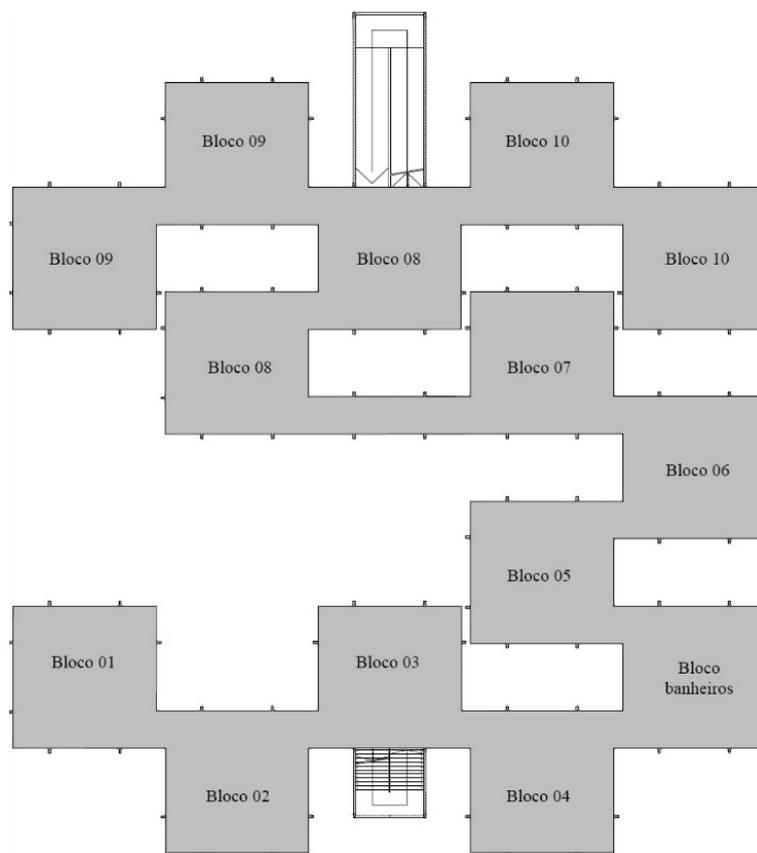


Figura 3.6 Organização dos blocos.

As áreas do prédio foram divididas em 9 (nove) grupos de espaços diferentes segundo a função destes. Na Figura 3.2 e Figura 3.3, é possível localizar segundo a cor, a função que é realizada nos diferentes espaços e as dimensões que tem um respeito aos outros. Os laboratórios e as aulas são os espaços de maiores dimensões, ou seja, ocupam um bloco inteiro. Contudo, as salas dos professores pela sua função só ocupam uma parte do bloco que é possível dividir em até 6 espaços diferentes para esta função como é observado na Figura 3.3. O espaço dedicado à circulação é considerável, na Tabela 3.1 é possível saber as dimensões e comparar como a área dedicada à circulação com $641,68 \text{ m}^2$ é superior apresentado na cada um é diferenciado por uma cor segundo a sua função. O edifício contém 14 blocos com dimensões padrão de $(9,8 \times 11,8 \text{ m}^2)$. No interior deles não tem nenhum elemento estrutural e pode ser dividido em qualquer forma ou ordem. A circulação entre os blocos ocorre mediante corredores fechados, uma rampa e uma escada de grandes dimensões.

3.2.3 Blocos

Ao analisar o prédio foram detectados problemas de projeto causados certamente pelo desconhecimento ou despreocupação em épocas anteriores e que diminuiriam o desempenho térmico deste, provocando o aumento da temperatura interior. Entretanto, nem todos os espaços

tem este problema. As características deles e em específico as dimensões e localização das áreas no interior da edificação, são as que provocam estes defeitos. Necessitam de melhorias as salas dos professores, por conta do espaço reduzido, e os laboratórios de pesquisa, localizados no centro de seus respectivos blocos no segundo andar. Nestes espaços foram achados os seguintes problemas:

- Ventilação por convecção nas salas dos professores: devido à presença de janelas unilaterais o que acarreta em irrisória ventilação natural.
- Ausência de ventilação natural nas salas dos pesquisadores: por não ter conexão direta com a fachada.
- Ausência de iluminação natural nas salas dos pesquisadores: por não ter conexão direta com a fachada.
- Ausência de iluminação natural no corredor de acesso às salas dos professores.

A seguir são descritos especificamente cada espaço mencionando os problemas.

- Salas de pesquisa:
- Problema

Na Figura 3.7 **Erro! Fonte de referência não encontrada. Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 3.8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são mostrados os blocos 04 e 07 respectivamente, como exemplo, onde foram encontrados problemas na organização dos espaços dentro do prédio. As salas de pesquisa (na cor azul) estão localizadas entre as salas dos professores (na cor verde) e o corredor (na cor laranja); impossibilitam uma iluminação ou ventilação natural mínima agradável. Neste caso a ventilação por convecção é a única existente como é representado na Figura 3.7 **Erro! Fonte de referência não encontrada. Erro! Fonte de referência não encontrada.**, Figura 3.8 e em corte na

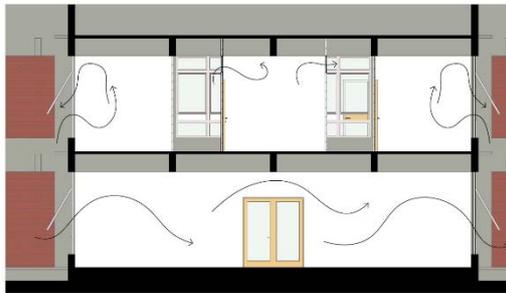


Figura 3.9 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Pela atividade realizada no interior deste espaço, a carga térmica interna é relativamente alta devido ao pessoal e equipamento, pois os computadores ficam ligados o tempo todo junto às luminárias, atingindo sempre ao máximo de consumo sem possibilidades de alguma outra solução alternativa. Isto provoca moléstias nos ocupantes dos espaços que procuram soluções que no final terminam em mais consumo de energia.

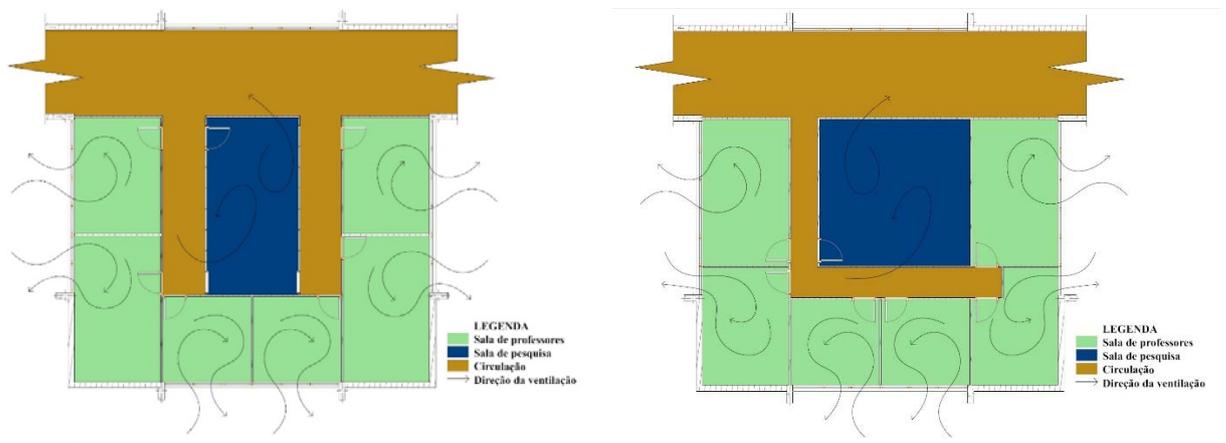


Figura 3.7-Distribuição de espaços atualmente no bloco 04, andar 01.

Figura 3.8-Distribuição de espaços atualmente no bloco 07-A, andar 01.

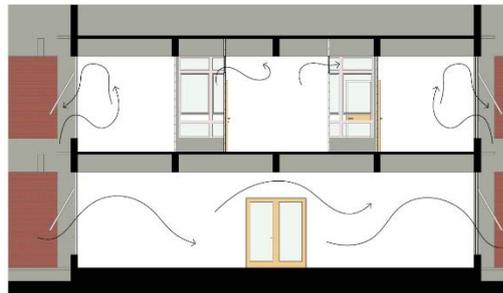
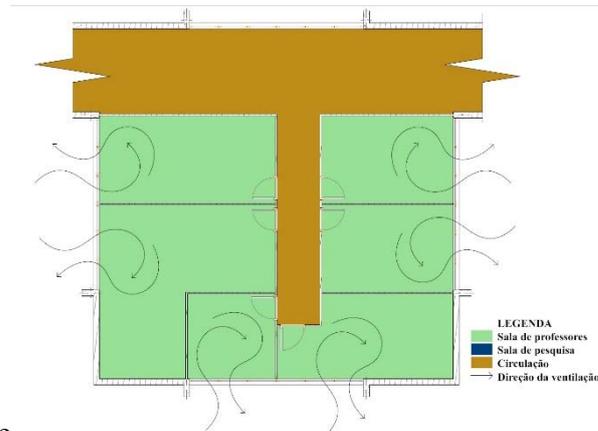


Figura 3.9- Corte demonstrativo da ventilação atualmente no bloco 04, andar 01.

- Salas dos professores:
- Problema



Na Figura 3.10 e Figura 3.11 são representados os blocos 01 e 02 respectivamente onde são observados problemas similares. Nestes blocos não existem salas de pesquisadores, mas os problemas de ventilação são parecidos pela presença de janelas unilaterais; isto gera ventilação por convecção (Figura 3.12). Isto somado à orientação das fachadas que provoca a exposição de todo o prédio ao sol todos os dias do ano, acarreta em um aumento na carga térmica dos espaços. Uma vez identificados os problemas nos espaços foi realizada uma proposta de melhoria no projeto. As características próprias do prédio facilitaram a intervenção nele. O seu sistema estrutural da liberdade para intervir na reestruturação interior e na fachada sem comprometer a integridade estrutural da edificação.

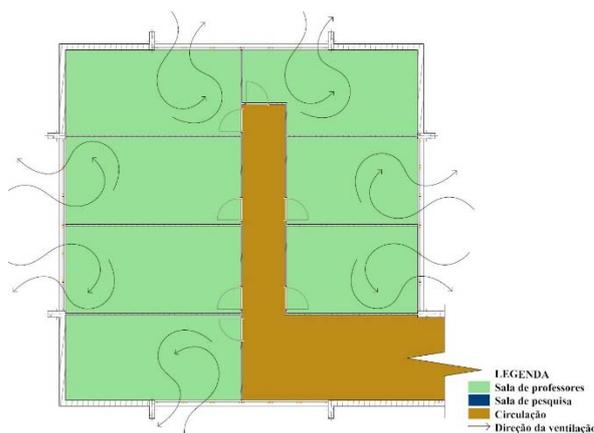


Figura 3.10-Distribuição de espaços antes da modificação no bloco 01, andar 01

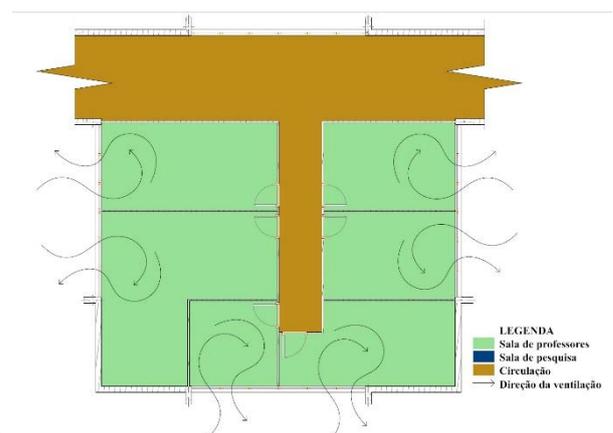


Figura 3.11 Distribuição de espaços antes da modificação no bloco 02, andar 01.

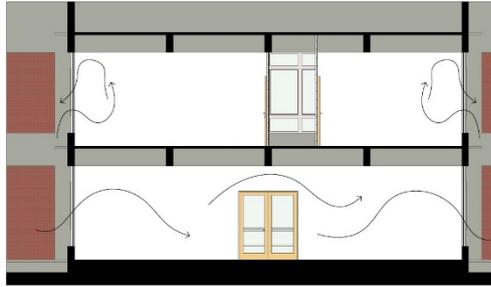


Figura 3.12- Corte demonstrativo da ventilação atual.

Para os próximos cálculos são necessários uma série de dados numéricos das próprias características do prédio e que são apresentadas a seguir na

Tabela 3.4:

Tabela 3.4-Dados gerais do prédio

Dados	Valor	Unid.
A_{pcob} (Área de projeção da cobertura)	2288,84	m ²
Pé direito	6,87	m
V_{tot} (Volume total da edificação)	15724,33	m ³
Perímetro	688,8	m
Área da fachada	4732,056	m ³
A_{pe} (Área de projeção)	2288,84	m ²
A_{env} (Área da envoltória)	7020,896	m ²
PAF_T (Percentual de Área de Abertura na fachada total)	0,3	-
FACHADA SO	317,28	m ²
FACHADA NO	358,15	m ²
FACHADA NL	363,84	m ²
FACHADA SL	340,62	m ²
TOTAL	1379,89	m ²

3.3 Determinação da eficiência energética da envoltória aplicando a metodologia do RTQ-C.

O primeiro passo para avaliação do prédio é o cumprimento dos pré-requisitos específicos planteados pela norma para a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) e a transmitância térmica das paredes externas (U_{par}). Estes valores foram apresentados anteriormente na descrição específica do prédio. A transmitância térmica da parede é $U_{par} = 1,8 \left[W / (m^2 \cdot K) \right]$ e da cobertura $U_{cob} = 2,174 \left[W / (m^2 \cdot K) \right]$. Depois de obtidos, estes valores são comparados com os limites dos diferentes níveis de classificação definidos pela norma e apresentados de forma resumida na Tabela 3.5.

Tabela 3.5-Valores limites dos pré-requisitos para cada Limite.

ZONA BIOCLIMÁTICA 2		
Componente	Valor mínimo (W/m²k)	Valor máximo (W/m²k)
NÍVEL A		
Cobertura (U_{cob})	-	1
Parede (U_{par})	-	1
Cores e absorbância de superfícies	-	0,5
NÍVEL B		
Cobertura (U_{cob})	1	2
Parede (U_{par})	1	2
Cores e absorbância de superfícies	-	0,5
NÍVEIS C, D		
Cobertura	1	2
Parede	2	3,7

É possível observar como resultado da comparação que o valor de U_{cob} é superior aos valores limites de todos os níveis de classificação, ou seja, segundo o procedimento de avaliação da norma, a classificação do prédio desce até o Nível E (o mais baixo no sistema) e por isso não tem nem limite mínimo ou máximo. Mas é preciso explicar que os componentes escolhidos para o cálculo da transmitância térmica da cobertura foram escolhidos pela comprovação visual no local, mas com desconhecimento total da espessura dos componentes exteriores da cobertura e/ou da existência de algum componente isolante interior. Por esta razão considerado o passo da avaliação do pré-requisito de U_{cob} . No caso de U_{par} o valor entra na faixa especificada para o nível B de eficiência para a envoltória.

O seguinte passo para a classificação da eficiência na envoltória depende do *Indicador de consumo da envoltória* (IC_{env}) que é obtido através de uma equação que é selecionada segundo a dimensão da *área de projeção do prédio* (A_{pe}) seja menor ou maior que 500 m² e segundo a zona climática onde o prédio está localizado.

O prédio analisado está localizado na *zona bioclimática 2* e sua $A_{pe}=2287,6 \text{ m}^2 > 500 \text{ m}^2$ pelo que IC_{env} tem que ser calculada através da (3.1):

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -14,14 \cdot FA - 113,94 \cdot FF + 50,82 \cdot PAF_T + 4,86 \cdot FS - 0,32 \cdot AVS \\
 & + 0,26 \cdot AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 \cdot PAF_T \cdot AHS + 277,98
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

IC_{env} é um parâmetro para avaliação comparativa da eficiência da envoltória. A sua equação foi gerada através de resultados de consumo de energia simulados no programa computacional *Energy Plus*® para diversas tipologias construtivas de edificações comerciais brasileiras. Ele deve ser considerado apenas um indicador para comparação entre edificações que tenham idêntico o *fator de altura (FA)* **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e *fator de forma (FF)*, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) de forma que represente as variações de eficiência dependente só da envoltória ELETROBRÁS; PROCEL, (2013). Ele depende de vários fatores apresentados na (3.1) e cada um deles tem relação direta com a forma e as características construtivas do prédio; o *fator de altura (FA)* e *fator de forma (FF)* estão relacionados com a volumetria do prédio, e *fator solar (FS)* com o material específico com que foram fabricadas as janelas do prédio; o *ângulo vertical de sombreamento (AVS)*, *ângulo horizontal de sombreamento (AHS)* e o *percentual de abertura na fachada total (PAF τ)* são mais centrados nas características que tem as fachadas e a existência o não, de proteção contra a incidência direta do sol.

Sendo escolhida a equação de IC_{env} , ela tem uma restrição relacionada com o *fator de forma (FF)* onde A_{pe} tem um valor limite mínimo de $FF=0,15$. Continuando com a metodologia, é calculado FF mediante a equação (3.2) a partir dos dados da

Tabela 3.4:

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} = \frac{7020,9m^2}{15724,3m^3} = 0,45 \quad (3.2)$$

FF : para o desenvolvimento do cálculo, é tomado como adimensional segundo Eletrobrás; Procel (2013)

A_{env} : Área da envoltória [m^2];

V_{tot} : Volume total da edificação [m^3].

O valor obtido do cálculo de FF foi maior à restrição limite para o uso da equação de IC_{env} anteriormente citada, ou seja, é válido o resultado e permite continuar com a metodologia e calcular os outros fatores precisados para a obtenção de IC_{env} a partir dos dados da

Tabela 3.4:

$$FA = \frac{A_{pcob}}{A_{tot}} = \frac{2288,84 \text{ m}^2}{4577,7 \text{ m}^2} = 0,5 \quad (3.3)$$

A_{pcob} : área de projeção da cobertura [m^2];

A_{tot} : área total construída [m^2] **Erro! Fonte de referência não encontrada.**);

$$A_{tot} = A_{pe} \cdot \text{quantidade de níveis do prédio} = 2288,84 \cdot 2 = 4577,7 \quad (3.4)$$

Área de projeção do edifício A_{pe} [m^2];

O fator solar (FS): é a razão entre o ganho de calor no ambiente através de uma abertura e sua radiação solar incidente. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é irradiada novamente ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. Tem na metodologia do RTQ-C uma equação para obter o valor, porém, é facilitado na maioria dos casos pelos fabricantes. Neste trabalho o dado foi adquirido de DL118/213 Decreto-Lei (2013) com valor de $FS=0,88$.

Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS):

AVS é o ângulo de sombreamento formado por um elemento horizontal de proteção e a janela como é possível observar na Figura 3.13. Este é possível visualizar só em uma representação em corte. O cálculo deste deve ser feito para cada janela em todas as fachadas e ao final, ser ponderado para alcançar o valor médio. Neste caso o prédio estudado não tem proteção horizontal pelo que o resultado obtido foi de $AVS=0$

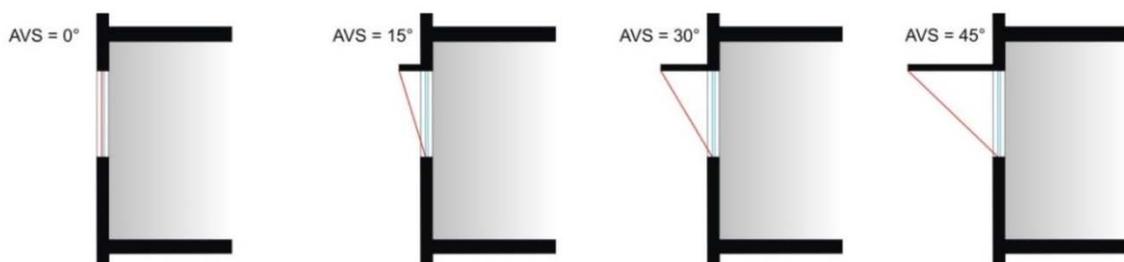


Figura 3.13-Ângulo de sombreamento vertical.

Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS):

AHS é o ângulo de sombreamento formado por algum elemento vertical que realize alguma proteção solar na janela. Como é mostrado na Figura 3.14, o cálculo é feito obtendo a média dos ângulos das proteções solares nos lados de cada janela do prédio e logo disto, é calculado o valor médio ponderado. Este prédio por ter uma característica irregular na sua forma, ele mesmo provoca sombreamento nas suas próprias janelas dentro dos pátios interiores e por isso é considerada a existência de proteção solar vertical. Por motivos da quantidade de dados a colocar na equação para o cálculo do prédio todo, é apresentado só o valor final sendo que $AHS=49,67$. Este resultado é maior ao 45° fixado como valor limite máximo para o procedimento de cálculo na (3.1 pelo que é assumido como resultado final $AHS=45^\circ$.

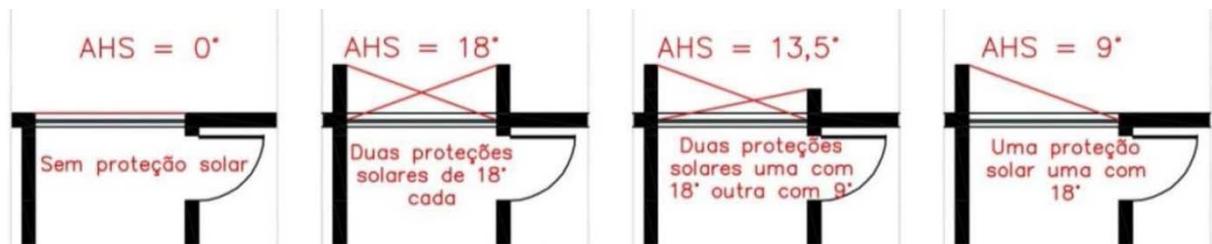


Figura 3.14-Ângulo de sombreamento horizontal.

Percentual de Abertura na Fachada total (PAF_T) (adimensional):

O PAF_T **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) é a razão entre a soma das áreas de aberturas envidraçadas ou com fechamento translúcido de cada fachada e a área total de fachada da edificação. É calculado só para aberturas em paredes verticais com inclinação maior a 60° em relação ao plano horizontal.

$$PAF_T = \frac{\text{Área total de janelas}}{\text{Área de fachada}} = \frac{1379,89}{4732,056} = 0,29 \approx 0,3 \quad (3.5)$$

Como resultado da substituição de todos os cálculos feitos para achar os diferentes fatores que compõem a equação (3.1, foi obtido que:

$$IC_{env} = -14,14 \cdot 0,5 - 113,94 \cdot 0,45 + 50,82 \cdot 0,3 + 4,86 \cdot 0,88 - 0,32 \cdot 0 \\ + 0,26 \cdot 45 - \frac{35,75}{0,45} - 0,54 \cdot 0,3 \cdot 45 + 277,98 = 163,66$$

A leitura do resultado de IC_{env} , neste cálculo não possui ainda significância. Este deve ser comparado com os valores mínimos e máximos que são obtidos a partir da mesma fórmula com

os dados gerais do prédio, mas substituindo os valores reais de PAF_T , FS , AVS e AHS por outros valores definidos como mínimos e máximos pela própria metodologia de cálculo do RTQ-C.

Depois de obter este resultado e como último passo, é preciso fazer o procedimento para classificação do nível de eficiência da envoltória.

Procedimento para classificação do nível de eficiência da envoltória.

Depois de obter $IC_{env}=163,66$ é preciso fixar os limites máximos e mínimos para a classificação do nível de eficiência da envoltória do prédio estudado. O cálculo para obter o limite máximo do indicador de consumo ($IC_{máxD}$) é achado com a mesma (3.1, mas substituindo os valores que aparecem na Tabela 3.6 e usando como fatores reais do prédio só FF e FA que introduzem dentro da equação a área e volumetria como características gerais do prédio.

Tabela 3.6-Valores para achar $IC_{máxD}$

PAF_T	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C (Eletrobrás; Procel, 2013).

Fazendo a substituição na equação (3.1 para obter $IC_{máxD}$ temos que:

$$IC_{máx} = -14,14 \cdot 0,5 - 113,94 \cdot 0,45 + 50,82 \cdot 0,6 + 4,86 \cdot 0,61 - 0,32 \cdot 0 + 0,26 \cdot 0 - \frac{35,75}{0,45} - 0,54 \cdot 0,6 \cdot 0 + 277,98 = 173,34$$

Para o limite mínimo do indicador de consumo (IC_{min}) é feito o mesmo procedimento de substituição de valores, mas tomando agora os presentes na Tabela 3.7:

Tabela 3.7-Valores para achar IC_{min}

PAF_T	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C (Eletrobrás; Procel, 2013).

Fazendo a substituição na equação (3.1 para obter IC_{min} temos que:

$$IC_{min} = -14,14 \cdot 0,5 - 113,94 \cdot 0,45 + 50,82 \cdot 0,05 + 4,86 \cdot 0,87 - 0,32 \cdot 0 \\ + 0,26 \cdot 0 - \frac{35,75}{0,45} - 0,54 \cdot 0,05 \cdot 0 + 277,98 = 146,65$$

Foram obtidos como resultado que $IC_{máxD} = 173,34$ e $IC_{min} = 146,65$. Estes valores representam o intervalo em que a edificação se encontra dentro da classificação. Com uma simples comprovação observa-se que o valor de IC_{env} está dentro da faixa dos limites fixados por $IC_{máxD}$ e IC_{min} . Mas esses valores são os valores totais onde se encontram as classificações desde o nível A até E de eficiência da envoltória pelo que, segundo a metodologia este tem que ser dividido em 4 (quatro) intervalos (i) utilizando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para definir os valores de cada intervalo. O valor de i é a diferença entre $IC_{máxD}$ e IC_{min} , dividida em quatro para criar o intervalo entre os diferentes níveis de classificação da eficiência na envoltória.

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{min})}{4} = \frac{(173,34 - 146,65)}{4} = 6,67 \quad (3.6)$$

Com o valor de $i=6,67$ são calculados os 4 (quatro) intervalos que definem os limites mínimos e máximos dos diferentes níveis de eficiência da envoltória. Na Tabela 3.8 estão as equações para definir cada valor limite do intervalo dos 4 (quatro) níveis de eficiência que pode ter a envoltória do prédio analisado. Com a substituição dos valores do cálculo é preenchida a Tabela 3.8 com os resultados finais.

Tabela 3.8-Cálculo dos limites de eficiência.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{máxD} - 3 \cdot i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2 \cdot i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{máxD} - 3 \cdot i$	$IC_{máxD} - 2 \cdot i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C (Eletrobrás; Procel, 2013).

Tabela 3.9-Valores finais do cálculo.

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	153,3	160,0	166,7	173,3
Resultado	-	-	163,66	-	-
Limite Máximo	153,3	160,0	166,7	173,3	
Classificação gráfica	A	B	C	D	E

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C (Eletrobrás; Procel, 2013).

Como é possível observar na Tabela 3.9, para cada nível de eficiência do RTQ-C existe uma faixa de valores com diferentes cores dentro do qual deve-se encontrar o resultado do cálculo feito para IC_{env} do prédio. Neste caso a avaliação do prédio com as características atuais teve como resultado uma eficiência da envoltória com Nível C.

Obter este resultado de Nível C é uma mostra das possibilidades de melhoramentos no prédio estudado. As principais problemáticas observadas são: a orientação solar e a forma física dele, especificamente o fato de ter 29% de área de janelas sem proteção exterior para bloquear a incidência direta do sol. São estas características responsáveis pela eficiência energética em um edifício, tornando-o baixo ou alto consumidor de energia.

Conclusões do capítulo

Com o levantamento geral e específico do prédio foi possível conhecer as características e situação atual em que se encontra este. Os dados servirão para definir quais são os espaços do prédio onde é preciso intervir e quais serão as soluções construtivas passivas de eficiência energética mais adequadas para cada um deles e para o prédio em geral.

A avaliação feita com a metodologia brasileira de avaliação da eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, RTQ-C a partir dos dados levantados deu como resultado o Nível C de eficiência energética da envoltória do prédio o que demonstra a necessidade de soluções passivas de eficiência energética para melhorar o rendimento do prédio no consumo energético.

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO MODELO DE GESTÃO ENERGÉTICA

Neste capítulo é apresentado e desenvolvido completamente o modelo de gestão energética para a diminuição do consumo energético baseada na ABNT-NBR: ISSO 50001:2011 que define a linha base e linha meta do prédio analisado. É explicado em detalhe o desenvolvimento do cálculo para achar a linha base e linha meta e cada atividade e ferramenta gráfica utilizada para chegar aos resultados definidos neste trabalho.

4.1 Aplicação do Modelo de gestão energética

O modelo de gestão energética aplicado neste trabalho foi desenvolvido por (Batlle, 2015) como ferramenta para analisar energeticamente o Campus José Rodrigues Seabra da Universidade Federal de Itajubá. Ele é baseado na norma ABNT-NBR: ISSO 50001:2011 e tem 4 etapas fundamentais, cada uma delas com diferentes atividades para desenvolver na hora da implementação do modelo de gestão. Na Figura 4.1 e mostrada a ordem das etapas.

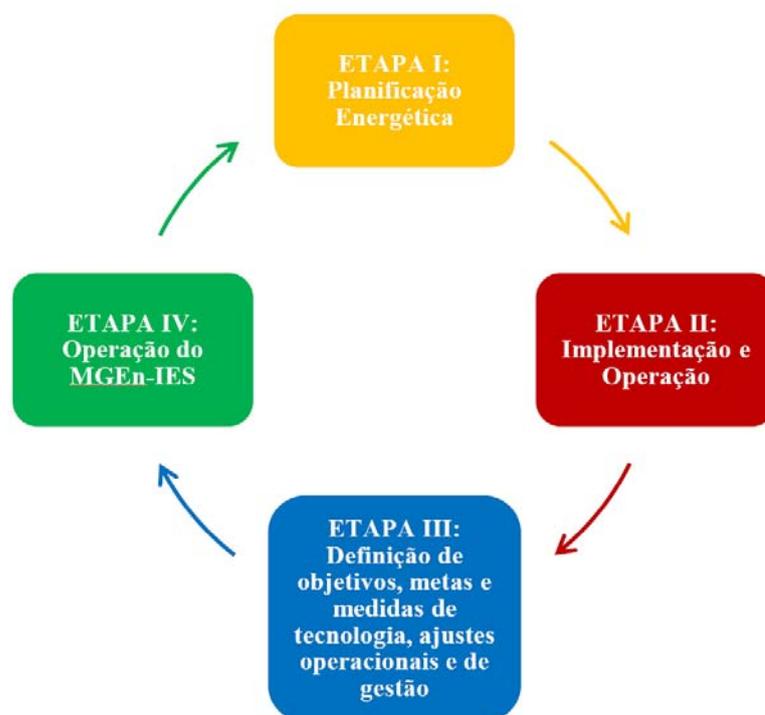


Figura 4.1-Diagrama simplificado da gestão energética para instituições de educação superior “MGE n-IES”

Estas etapas formam um ciclo contínuo o que indica um pensamento de aperfeiçoamento da gestão e o desenvolvimento contínuo de melhoras técnicas e administrativas. Para um melhor entendimento da metodologia ela é explicada por etapas de forma geral:

- **Etapa I:** Planificação energética do Instituto de Educação Superior (IES).

Nesta etapa é identificado o estado e comportamento energético atual do IES. A identificação é feita com através da aplicação de ferramentas estatísticas para estabelecer os potenciais globais de redução no consumo energético e as metas energéticas baseadas nestes potenciais, os impactos no meio ambiente e o rendimento energético.

- **Etapa II:** Implementação e operação no IES.

Tendo o estado energético geral do IES atualizado, são identificadas e classificadas as edificações, áreas e equipamentos com mais impacto no consumo energético da IES.

- **Etapa III:** Definição de objetivos, metas e medidas tecnológicas de ajuste operacional e de gestão.

Nesta etapa operando o MGEN-IES, são determinados e classificados os tipos de melhoras tecnológica, sejam de zero ou baixo investimento, e são elaboradas medidas de gestão organizacional para a eficiência energética.

- **Etapa IV: Operação do MGEN-IES.**

É melhorada continuamente a gestão energética e avaliado o desenvolvimento da cultura pela eficiência energética, para manter o interesse e compromisso dos níveis estratégicos, táticos e operativos da IES.

4.1.1 Adaptação do modelo.

Neste trabalho o modelo é transformado é são utilizadas só as duas primeiras etapas, para analisar edifício ICE pelo que foi necessária a modificação e simplificação da primeira e segunda etapa. Na Figura 4.2 é mostrado o fluxograma simplificado resumindo as atividades mais importantes.

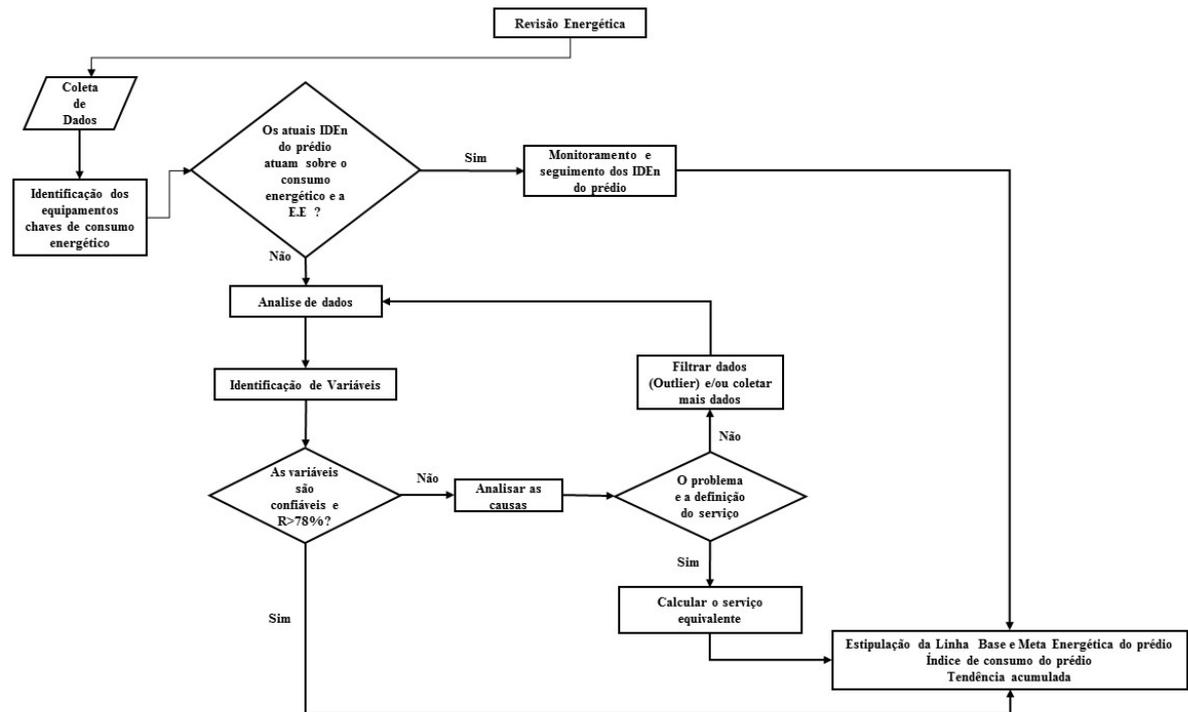


Figura 4.2-Fluxograma para aplicação do modelo de gestão energética.

Atividades do modelo

- **Atividade A: revisão energética.**

É identificado o estado atual na administração e uso eficiente da energia do prédio; para isto é preciso conhecer o desempenho energético do prédio. Fazendo uma revisão energética incluindo os seguintes pontos:

- Características gerais do prédio;
- Análise do consumo energético baseado em medições e outros tipos de dados;

As ferramentas utilizadas para isto são:

- Enquete qualitativa;
- Análise de planos arquitetônicos (Distribuição e quantidade de espaços existentes no prédio);
- Análise do consumo energético do prédio no período estudado;
- Gráficos de tendência.

- **Atividade B: identificação das variáveis.**

Nesta atividade são identificadas as variáveis que afetam direta e/ou indiretamente o consumo energético no prédio.

- **Atividade C: Identificação e classificação das áreas e equipamentos que compõem o prédio.**

Nesta atividade são classificadas e identificadas as áreas e equipamentos que compõem o prédio.

Ferramentas utilizadas:

- Levantamento de dados;
- Identificação dos espaços;
- Função dos espaços;
- Levantamento dos dados específicos dos diferentes tipos de equipamento;

- **Atividade D: Identificação das áreas e equipamentos chaves.**

Nesta atividade são classificadas e avaliadas as áreas chaves existentes no prédio para identificar e analisar, quais são entre todas as áreas as que tem a maior carga instalada em equipamentos na edificação.

Ferramentas utilizadas:

- Levantamento da carga instalada por área e equipamento;
- Diagrama de Pareto.

- **Atividade E: Definição da Linha base energética do prédio.**

Nesta atividade é definida a linha base energética do prédio com métodos estatísticos. Ela serve como representação do comportamento energético atual e referência base para o processo de melhora. Também fornece o valor da energia associada e não associada à produção e segundo a correlação obtida da linha base, é comprovado se os indicadores utilizados no análise são os adequados. As ferramentas utilizadas são:

- Uso dos dados do levantamento;
- Filtrado de *outlier* (dados anômalos);
- Diagrama E (energia) vs P (produção) e/ou produto equivalente.

- **Atividade F: Definição da linha meta e diagnóstico energético do prédio.**

É definida a linha meta que permite identificar (quando é comparada com a linha base) o potencial de economia de energia com base na diferencia dos valores obtidos da energia não da linha base e linha meta. Além disso permite: validar os indicadores ou definir novos indicadores para o prédio e estipular metas realizáveis. As ferramentas utilizadas são:

- Filtragem de *outlier*;
- Diagrama de Índice de consumo v.s. serviço equivalente;
- Diagrama CUSUM.

4.1.2 Implementação do modelo de gestão energética para o prédio do ICE na Universidade Federal de Itajubá

- **Atividade A: revisão energética**
- **Análise do consumo elétrico do prédio**

Os dados do consumo elétrico do prédio foram obtidos do controle diário que tem a universidade de vários prédios no campus. Devido à falha do medidor em 2011, 2012 e 2013 onde nenhum período teve monitoramento completo foi decidido estudar o primeiro semestre de 2014 compreendido entre o dia 24 de fevereiro (até o dia 11) de julho.

Na Figura 4.3 é mostrado o comportamento do consumo elétrico através de um gráfico de controle durante o período estudado.

O gráfico de controle é um diagrama linear que permite observar o comportamento de uma variável em função de certos limites estabelecidos. São usados como ferramenta de autocontrole e resultam muito úteis para detectar em quais partes do processo são produzidas as alterações.

Na maior parte dos processos existe um comportamento denominado normal, ou seja, um valor médio com muita probabilidade de ser obtido, mas, na medida em que nos afastamos desse valor médio a probabilidade de aparecer outros valores deste parâmetro desse bruscamente, se não aparecem causas externas que alterem o processo, até ser praticamente nula para desvios maiores para 3 vezes o desvio padrão (3σ) do valor médio.

Este gráfico é conformado pela linha de controle superior (LCS), linha de controle inferior (LCI) e linha central (Média). Se os pontos da curva estão dentro dos limites de controle superior e inferior, então as variações são de causas aleatórias e o comportamento é estável. Se os pontos estão fora dos limites significa que a variável teve um comportamento instável pelo que é possível achar a anomalia e estabilizar o processo. Em geral este gráfico de controle tem como utilidade:

Conhecer se a variável avaliada está sob controle ou não;

Conhecer os limites em que a variável avaliada é considerada sob controle;

Identificar os comportamentos que precisam explicação;

Identificar as causas não aleatórias que influenciam no comportamento da variável;

As linhas de controle LCS, LCI e linha Média são calculadas mediante as seguintes equações:

$$LCS = \bar{X} + 3\sigma = 301,698 + 3 \cdot 164,152 = 794,153 \quad (4.7)$$

$$LC = \bar{X} \quad (4.8)$$

$$LCI = \bar{X} - 3\sigma = 301,698 - 3 \cdot 164,152 = -190,8 \quad (4.9)$$

Onde:

\bar{X} : É a média amostral que neste caso seria o consumo energético do prédio durante o tempo analisado.

n : É a quantidade dias analisados que neste caso são 86 dias uteis.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 301,698 \quad (4.10)$$

σ : É o desvio padrão.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 164,152 \quad (4.11)$$

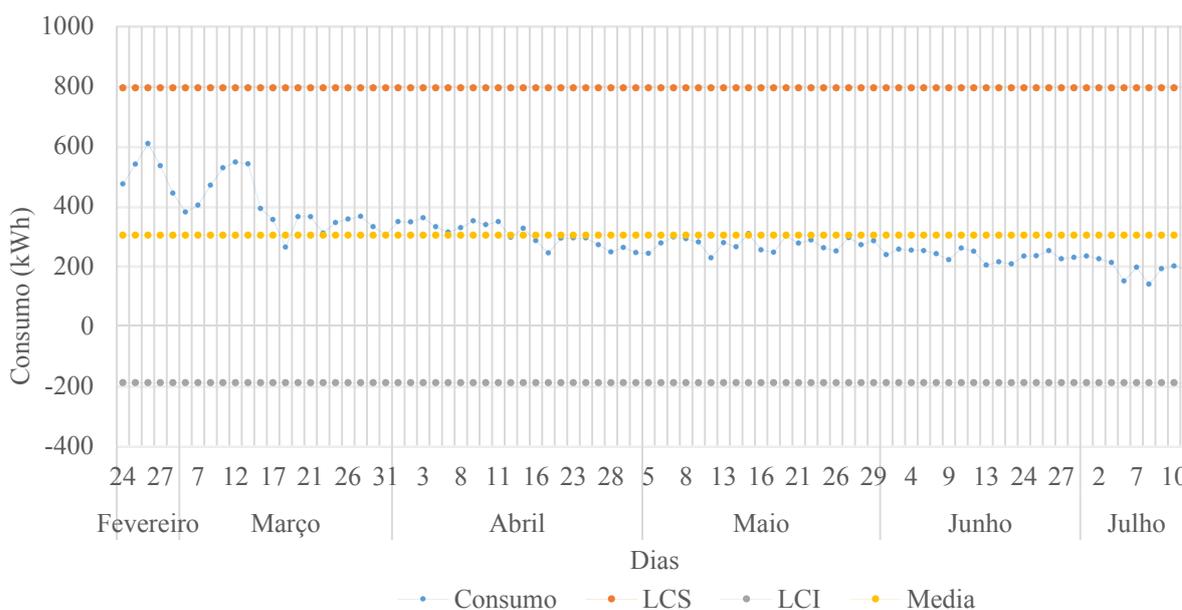


Figura 4.3-Consumo de energia do prédio no período estudado.

Segundo o comportamento da linha de consumo, este vai descendo na medida que a estação de verão vai acabando e outono vai transcorrendo para o inverno (Figura 4.3). O dia 26 de fevereiro é o ponto de mais consumo dentro do tempo analisado. A irregularidade do comportamento na linha é devido ao fim de semana sendo quase sempre a quarta feira o dia da semana em que mais se consome energia. Os finais de semana (não estão incluídos na Figura 4.3 pelo aumento da sinuosidade que provocam na curva de consumo) o prédio e a escola em geral ficam quase vazios tendo só algumas pessoas fazendo pesquisa pelas facilidades que tem a escola como é a internet computadores e equipamento para testes e analise. Depois do dia 9 de junho os valores normais ficam embaixo da media pelo feito da entrada do inverno onde os equipamentos de condicionamento de ar e equipamentos de ambientação em geral são desligados.

- **Atividade B: Identificação das variáveis.**

Como é mostrado na Figura 4.4, o tempo de utilização das diferentes áreas no dia, a carga térmica provocada pelas pessoas, equipamentos, as características do espaço e a localização geográfica junto com a temperatura ambiente devido às mudanças de estação no ano, são as causas que provocam o consumo diário da energia do prédio. Estas foram reunidas em 3 fatores que para caracterizar o consumo: *Fator Área Utilizada Dia equivalente* AUD_{eq} , *Fator de carga* (F_c) e *Fator de temperatura* (F_t) (BATLLE, 2015). AUD_{eq} é um indicador que caracteriza o serviço fornecido pelo prédio que é: proporcionar espaço para dar aula em um tempo determinado do ano, processo realizado nas salas de aula e nos laboratórios, desenvolvido pelo

professor e recebido pelos alunos. Nesse indicador são somadas também as salas dos professores e secretaria. Estes espaços são utilizados pelos professores e o pessoal administrativo o tempo todo como parte do serviço. Fc é um indicador comum e mostra em geral se a energia está sendo utilizada racionalmente e se existe alguma possibilidade de melhora. Esta variável é pouco específica pelo que é necessário trabalhar em conjunto com outros indicadores mais específicos (BATLLE, 2015). O Ft é um indicador Independiente que depende da posição geográfica do prédio e também influencia de forma determinante o comportamento do consumo elétrico no prédio, fato comprovado na análise feita previamente (Figura 4.5) onde foi observada a relação direta que tem a temperatura ambiente com o consumo de energia.

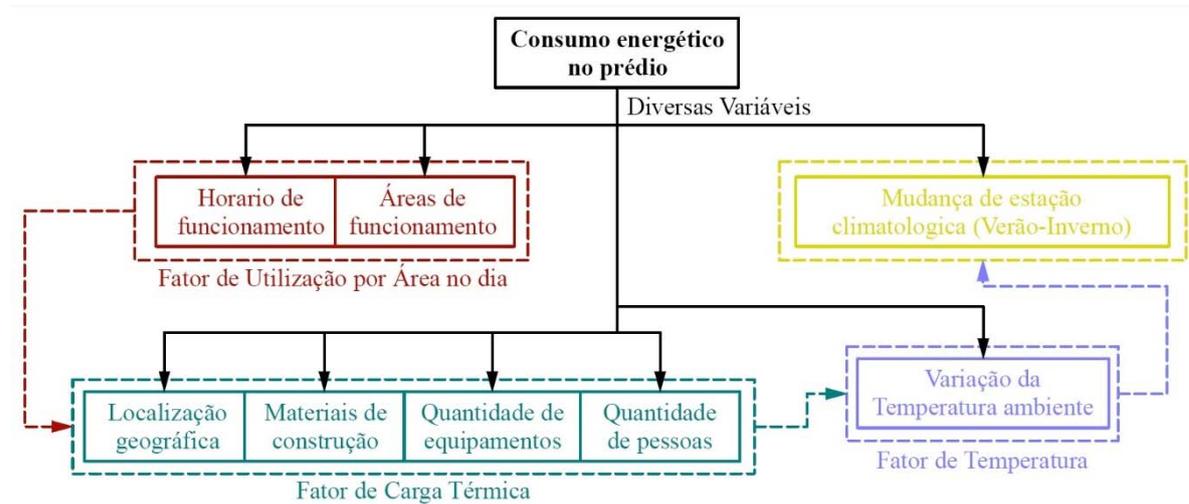


Figura 4.4-Fatores que incidem no consumo de energia no prédio.

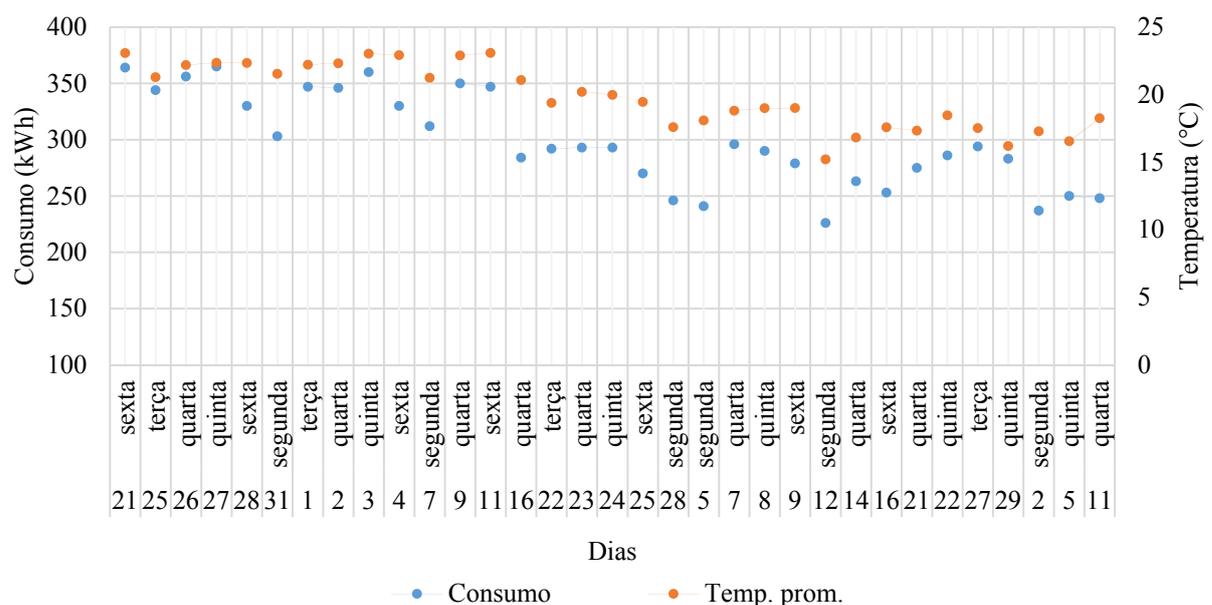


Figura 4.5-Consumo de energia vs temperatura média diária.

- **Atividade C: Identificação e classificação das áreas e equipamentos que compõem o prédio.**
 - Identificação dos tipos de espaços.

Na Tabela 4.1-Tipo de espaço e área que ocupa dentro do prédio. encontram-se os dados referentes às áreas do prédio. Estes foram classificados segundo o tipo de espaço. Em geral é possível observar o domínio em quantidade de m² das salas de laboratório, salas de aula e circulação com 769,5m², 476,98m² e 641,68m² respectivamente. É interessante como a forma própria do prédio provoca um grande uso de área só para circulação, o que pode provocar como consequência, o sobre consumo de energia em iluminação em uma área que realmente não tem vinculação direta com as atividades produtivas.

Tabela 4.1-Tipo de espaço e área que ocupa dentro do prédio.

Tipo de espaço	Grupo	Área por tipo de espaço: andar térreo (m ²)	Área por tipo de espaço primeiro andar (m ²)	Área por tipo de espaço (m ²) total
Sala de Laboratórios	A	769,5	310,15	1079,65
Sala de professores	B		727,97	727,97
Sala de Pesquisadores	C	69,12	108,51	177,63
Sala de Aulas	D	476,98		476,98
Sala de Técnico	E		8,48	8,48
Sala de Secretaria	F		112,17	112,17
Auditório	H		52,14	52,14
Banheiros (WC)	I	90,78	48,94	139,72
Circulação	J	641,68	672,64	1314,32
Comum	K	76,17	16,24	92,41
TOTAL		2124,23	2057,24	4181,47

- Função dos espaços

Cada espaço tem uma função específica que é descrita no Tabela 4.2 para uma melhor compreensão já que tem algumas que são agrupadas por sua função em geral como é o caso do almoxarifado e a cozinha.

Tabela 4.2- Uso dos diferentes tipos de espaços e grupo ao que pertence.

GRUPO	TIPO DE ESPAÇO	USO DO ESPAÇO
(A)	Sala de Laboratórios	Espaços destinados ao trabalho prático.
(B)	Sala de professores	Espaço para o trabalho dos professores.
(C)	Sala de Pesquisadores	Espaço destinado para o uso dos estudantes de mestrado e doutorado.
(D)	Sala de Aulas	Espaço para o desenvolvimento de aulas teóricas.
(E)	Sala de Técnico	Espaço que contém equipamentos de computação.
(F)	Sala de Secretária	Espaço destinado ao trabalho de secretária.
(H)	Auditório	Espaço destinado para apresentação de trabalhos, palestras e conferências.
(I)	Banheiros (WC)	Banheiros masculinos e femininos.
(J)	Circulação	Espaço destinado para a comunicação horizontal dos espaços dentro do prédio.

- o Identificação dos tipos de equipamentos.

Para a identificação dos equipamentos foi feito um levantamento em cada um dos espaços registrando o consumo de cada um deles. Foram contabilizados desde as luminárias até os equipamentos mais consumidores apresentados 4 destes na Tabela 4.3. Em geral foram levantados 1271 equipamentos consumidores de energia e dentro destes 710 são lâmpadas que no total tem um consumo de teórico de 26,965 kW e 121 equipamentos de ventilação entre ventiladores e condicionadores de ar que no total somam de consumo teórico 76,500 kW.

Tabela 4.3-Equipamentos mais consumidores de energia.

Andar	Equipamento	Equipamento	Quantidade	kW
Andar P01	Laboratório de sensores e dispositivos	Simulador	1	11
Andar P01	Laboratório de química	Forno tipo Mufla 3251	1	4,4
Andar P02	Mini auditório ICE	Split KOUECO 60000 btu	1	5,27
Andar P02	Sala C 1254 (ICE 8)	Split 60000 btu	1	5,27

Na Tabela 4.4 encontram-se classificados os diferentes equipamentos elétricos. O motivo da classificação foi a organização em grupos dos diferentes equipamentos segundo a utilidade destes. Com esta identificação é possível determinar as zonas do prédio com maior potencial de redução do consumo energético.

Tabela 4.4-Tipos de equipamentos seu grupo e uso.

Grupo	Tipo de Equipamento	Uso do equipamento no Espaço
(E.L)	Equipamentos de Laboratório.	O conjunto de equipamentos elétricos e eletrônicos usado para o desenvolvimento das atividades regulares de pesquisas e trabalhos experimentais.
(E.I)	Equipamentos de Iluminação	Equipamentos e/ou dispositivos que tenham como objetivo iluminação dum espaço. Um denominador comum nos prédios estudados é a utilização de lâmpadas economizadoras, lâmpadas fluorescentes de tubo e balastos eletrônicos, a faixa de potência a nível global é de 32 W até 400 W
(PC)	Equipamentos de Computação	São o conjunto de dispositivos eletrônicos usados para trabalhos de escritório. Tem-se identificado 3 tipos de tela CRT, LCD e LED, mas as CPU em sua grande parte são de processador baixo. Devido à variação das marcas foi decidido uma carga média por equipamento a qual varia de 143 W até 233 W.
(AC)	Ar Condicionado	Equipamentos usados para melhorar o ambiente térmico do espaço de trabalho ou de estudo, tem-se achado vários modelos tipo Split e de janela de 7500 Btus até 60000 Btus, nas quais suas potências varia de 754 W até 5270 W.
(E.V)	Equipamentos Vários	Dispositivos usados para diversas funções. Devido à variedade de aparelhos destas características com potencial de consumo energético de menor escala, para fins práticos da investigação, foram contados os aparelhos de uma potência nominal na faixa de 50 W até 1500 W.

- **Atividade D: Identificação das áreas e dos equipamentos chaves.**

- Identificação das áreas chaves.

Para isto é utilizado um diagrama de Pareto que é um gráfico especializado de barras que representa a informação em ordem descendente desde a categoria maior até a menor em unidades e por cento. As porcentagens agregadas de cada barra são conectadas por uma linha que mostra o incremento da soma de cada categoria com respeito ao total. Este diagrama é muito útil para aplicar a lei de Pareto ou Lei 80 – 20 que identifica o 20% das causas que provoca o 80% dos efeitos de qualquer fenômeno avaliado ou seja, ele identifica os maiores consumidores de energia ou maiores perdas energéticas segundo seja o interesse. Pode ser utilizado também para comparar os resultados antes e depois de alguma medida feita para melhorar a eficiência de algum processo e avaliar a influência que teve a medida no processo.

Neste caso de estudo o diagrama de Pareto será utilizado para avaliar as condições atuais do consumo energético do prédio estudado.

A partir da classificação realizada e do levantamento de cargas realizado em campo nos diferentes espaços (Tabela 4.5) foi obtido o diagrama de Pareto apresentado na Figura 4.6. Este diagrama é utilizado para localizar dentro das áreas do prédio, as de maior carga instalada dentro

do total. Este conhecimento é útil para orientar e concentrar as possíveis soluções de eficiência a serem executadas.

Tabela 4.5-Carga total instalada por grupo de áreas no prédio.

Grupo	Total de carga (kW)	% por quantidade equipamento	Acumulado (%)
A	162,872	60,9	60,9
B	64,9378	24,3	85,1
D	9,362	3,5	88,6
C	9,179	3,4	92,1
F	7,098	2,7	94,7
H	6,600	2,5	99,6
E	0,977	0,4	100,0
Total	267625,80		

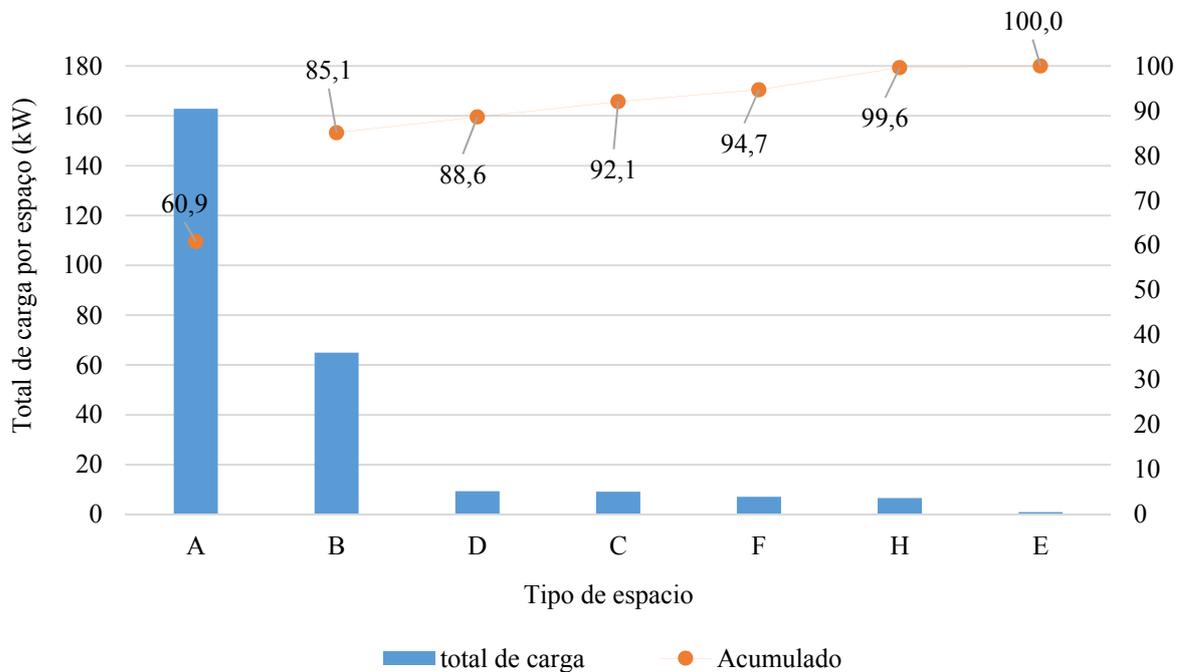


Figura 4.6-Diagrama de Pareto para consumo por tipo de espaço

O diagrama de Pareto (Figura 4.6) mostrou como resultado que nas salas de laboratório (A) está concentrado 60,9% da carga instalada total do prédio. Isto mostra para onde devem ser encaminhadas as medidas de eficiência dentro do prédio. Os outros espaços têm valores menores, sendo o segundo com mais importância as salas de professores com 24% da carga total. Os espaços tipo (A) tem esta condição devido à quantidade de equipamento de testes e ensaio, que por regra geral são grandes consumidores de energia. Nas salas dos professores é devido à quantidade de ar condicionado instalados nestes espaços. As outras áreas (D, C, F, H, E) tem carga uma carga instalada normal por não precisar de equipamento importante para fazer as atividades de trabalho ou estudo que são realizados neles.

Uma vez efetivada a categorização dos espaços e determinadas as cargas instaladas neles foi realizado uma classificação dos equipamentos instalados nesses espaços a fim de identificar os equipamentos com maior consumo de energia e aqueles nos quais existem os maiores potenciais de redução do consumo energético.

- Identificação dos equipamentos mais consumidores

Por ser um prédio pertencente a uma instituição de ensino superior politécnico os equipamentos de laboratório são imprescindíveis e apresentam a maior carga instalada, como mostra a Tabela 4.6. Como segundo mais consumidor estão os computadores. Como terceiro encontram-se os ar condicionados que são achados principalmente nos laboratórios de computação e nas salas dos professores.

Tabela 4.6-Potência total instalada dos tipos de equipamento.

Tipo de Equipamento	Carga total por tipo de Equipamento (We)	% por equipamento da carga total	Acumulado (100)
E.L	116.136,00	44,49	44,49
P.C	53.691,80	20,57	65,06
A.C	52.750,00	20,21	85,27
E.I	23.158,00	8,87	94,14
E.V	15.290,00	5,86	100,00
Total	261.025,80	100,00	

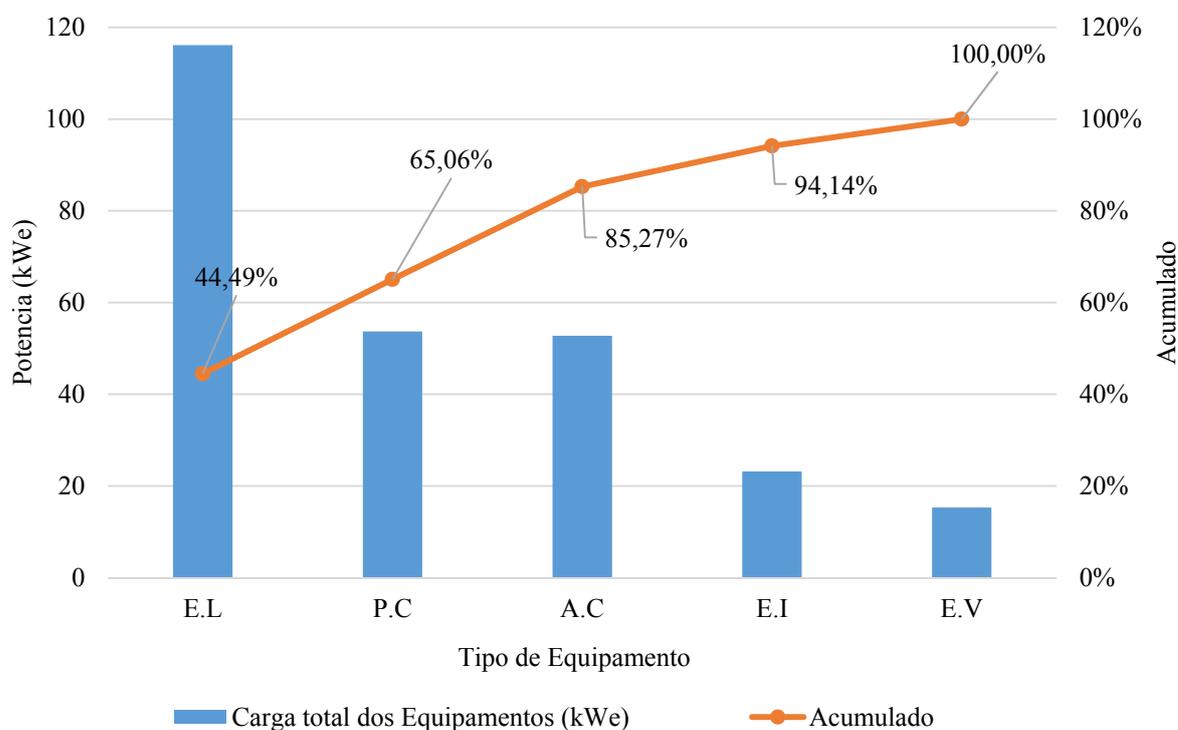


Figura 4.7-Diagrama de Pareto para consumo por tipo de equipamento.

Este diagrama de Pareto (Figura 4.7) mostra como os equipamentos de laboratório representam o 44,49% do total da carga instalada em todo o prédio, seguido pelas PCs e ar condicionados com 20,57% e 20,21% respectivamente.

- **Atividade E: Definição da Linha base energética.**

Seguindo a metodologia aplicada, o próximo passo é estabelecer a linha base energética. Para isto são apresentadas a seguir, as equações para calcular os indicadores definidos anteriormente. Todos os cálculos foram realizados mediante o *software* Microsoft office Excel®.

A equação (4.12) é a principal (Batlle, 2015) para estabelecer a linha base energética:

$$AUD(Fc)(Ft) = AUD_{eq} = \left(\sum_i^n u \cdot AL \cdot Fc + \sum_i^n u \cdot AS \cdot Fc \right) Ft \quad (4.12)$$

Onde:

AUD_{eq} : área utilizada dia equivalente.

u : Fator de uso dos diferentes espaços do prédio. u foi determinado pela equação (4.13):

$$u = \frac{\text{tempo de horas reais de uso da área}}{\text{tempo máximo de horas de uso}} = \frac{T_{atual}}{T_{máx}} \quad (4.13)$$

AL : área de aulas e/ou laboratório.

AS : área de serviço.

i : área.

n : total das áreas.

Fc : Fator de carga. Pelas diferentes características de cada uma das áreas no prédio suas cargas térmicas têm valores diferentes pelo que foi necessário um fator de carga para toda a edificação.

O Fc foi determinado pela equação (4.14):

$$Fc = \frac{QT_{Área}}{QT_{Total}} \quad (4.14)$$

Onde:

$QT_{Área}$: Carga térmica total de uma área específica (kcal/h).

QT_{Total} : Carga térmica total de todas as áreas do prédio que são utilizadas no cálculo (kcal/h).

Ft : Fator de temperatura. Segundo análises anteriores a temperatura tem uma repercussão já comprovada no consumo de energia dos equipamentos de ventilação e ar condicionado que existem dentro de algumas áreas no prédio; estes são os terceiros maiores responsáveis do consumo de energia dentro do prédio.

Para achar Ft , QT_{Area} é calculado para diferentes valores de temperatura dentro de uma faixa sequencial. A faixa de temperatura escolhida para realizar o cálculo neste trabalho tem como valor máximo 30,8°C definido como valor médio de temperatura típico do dia mais quente do ano nesta região (sudeste) pela norma NBR-16401-1 Tabela A.6. Como valor mínimo de temperatura para esta faixa foi escolhido 10°C decisão tomada porque, quanto mais quantidade de valores existam no análise, mais precisão irá ter o resultado.

Como indica a equação (4.15), QT_T é dividido pela carga térmica referente ao valor de temperatura de 24,5°C. Este valor de temperatura (24,5°C) está definido segundo NBR 16401-2 como média dos valores de conforto térmico, isto dá como resultado o fator inicial de temperatura:

$$Ftl_{i,T} = \frac{QT_T}{QT_{24,5^{\circ}C}} \quad (4.15)$$

Onde:

$Ftl_{i,T}$: Fator de temperatura inicial para uma área e temperatura determinada (kcal/h).

QT_T : Carga térmica Total para a temperatura n (kcal/h).

$QT_{24,5^{\circ}C}$: Carga térmica para a temperatura de 24,5°C kcal/h.

i : Áreas.

T : temperatura.

Obtido o valor de $Ftl_{i,T}$, é feito o cálculo do Fator de temperatura média (Ftm) que, como indica a equação (4.16), é a somatória do $Ftl_{i,T}$ de cada temperatura pertencente à faixa escolhida, dividida pelo número de áreas (n) tidas em consideração no cálculo.

$$Ftm = \frac{\sum_i^n Ftl_{i,T}}{n} \quad (4.16)$$

Onde:

F_{tm} : Fator de temperatura média para cada temperatura.

n : Número de áreas tidas em consideração no cálculo.

Com o valor de F_{tm} e as diferentes temperaturas da faixa escolhida, procede-se então à obtenção da equação exponencial $y = ae^{bx}$, gerada a partir do gráfico mostrado na Figura 4.8 onde os valores de temperatura ocupam o eixo das abcissas e F_{tm} o eixo das ordenadas.

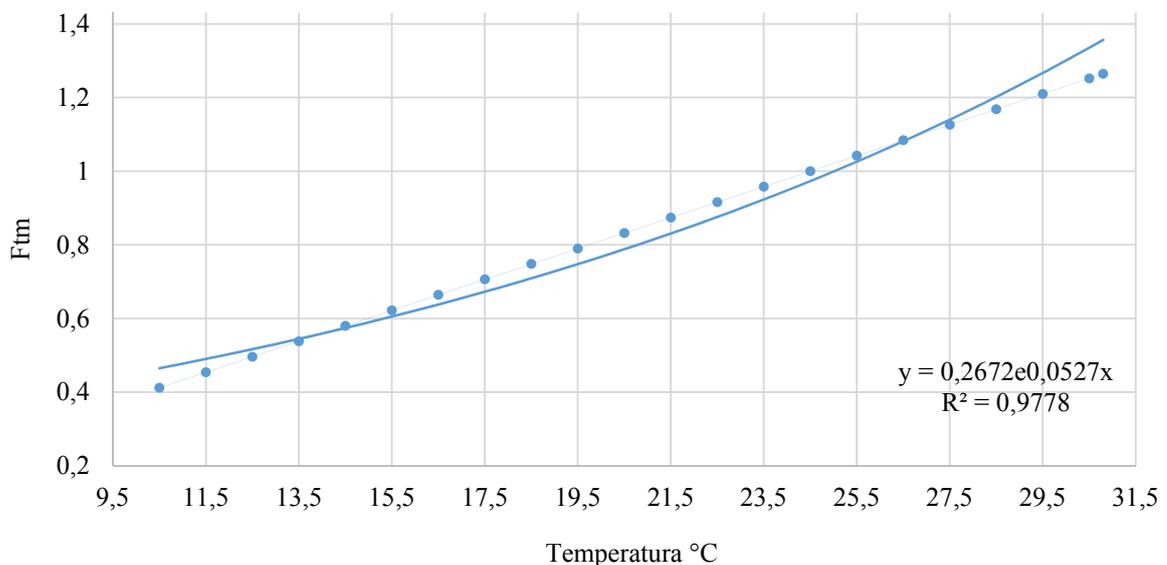


Figura 4.8-Fator de temperatura média vs temperatura.

Substituindo os valores de temperatura média diário, nos valores diários de cada mês que utilizado na análise, temos que: y corresponde ao fator de temperatura e x , à temperatura média. Logo de isto, determina-se o Ft diário, que permite determinar $AUD(Fc)(Ft)$. Então ficaria com a forma da equação (4.17) para cada valor dos espaços calculados:

$$AuFcFt = Au \cdot Fc \cdot (0,2672e^{0,0527 \cdot Tm}) \quad (4.17)$$

Onde:

Tm : Temperatura média de cada dia analisado.

Au : Multiplicação da área por u .

Para a definição da linha base é desenvolvido um diagrama de consumo vs produção. Este diagrama de dispersão, compara a energia usada com a produção de serviços em um período de tempo determinado, mostrando informação importante do processo analisado. Este gráfico pode ser realizado por portador energético e por áreas, considerando a produção associada ao

portador em questão. Por exemplo um Hotel pode, na gráfica, plotar o consumo de eletricidade versus os quartos noites ocupados. De forma geral é possível dizer que este diagrama pode determinar:

- Em que medida a variação do consumo energético é devido à variação da produção.
- Mostra se os componentes de um indicador de consumo de energia estão correlacionados e se o indicador é valido ou não.
- Determina quantitativamente o valor da energia não associada à produção.

Para o desenvolvimento do diagrama de dispersão como parte da metodologia, são colocados os valores do *consumo energético* da faixa de tempo escolhida no eixo das ordenadas e no eixo das abscissas, é colocado o produto dos indicadores escolhidos e calculados nas atividades anteriores ou seja: $AUD(Fc)(Ft)$. Como resultado é obtido o gráfico de dispersão da Figura 4.9 onde, cada um dos pontos na cor azul da gráfica, representa o consumo de energia feita em todo o prédio em um dia, segundo a quantidade de área utilizada e a linha de tendência representa o a variação média do consumo de energia em relação com a “produção” no tempo avaliado.

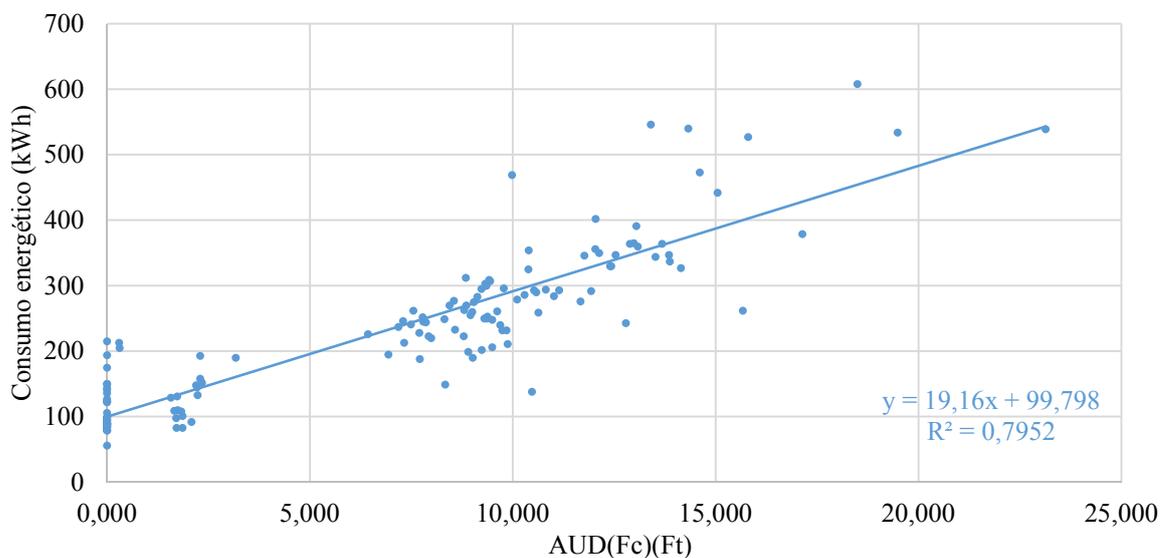


Figura 4.9-Consumo vs AUD(Fc)(Ft)

Segundo CEEMA (2006), o valor mínimo de correlação adequado para um análise energético é: $R^2 \geq 0,75$. Como é mostrado na Figura 4.9 no análise foi obtido $R^2 \geq 0,79$, valor muito perto do mínimo pelo que é considerado como uma correlação baixa. Para melhorar este resultado foi feito uma análise da variação do consumo energético na semana e no mês. Neste análise foi observado como o consumo diminuía no fim de semana e aumentava novamente nos dias uteis e o mesmo acontecia com os dias feriados ou de celebração. Como neste trabalho é considerado o consumo nos dias em que é efetuada a “produção” foram considerados *Outlier* os fins de

semana e os dias feriados e festivos por ser valores atípicos e/ou erros com um comportamento muito diferente com relação aos outros dentro de uma amostra determinada.

A depuração de *Outliers* feita teve o resultado esperado como é observado na Figura 4.10.

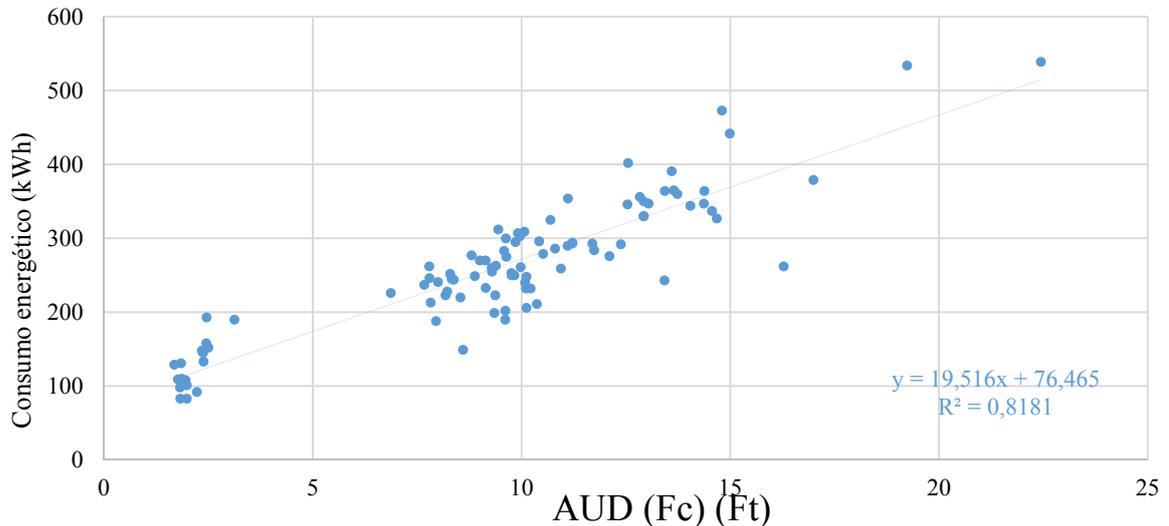


Figura 4.10-Consumo vs AUD(Fc)(Ft)

A correlação achada foi de $R^2=0,82$ de modo que é possível estabelecer o AUD_{eq} como um índice confiável para o prédio. Com a equação da reta $y = mx + b$ achada para este gráfico, substituímos os seus componentes em razão de ter uma leitura segundo nosso interesse como é mostrado na equação (4.18):

$$E = m \cdot P + E_0 = 19,516 \cdot AUD_{eq} + 76,465 \quad (4.18)$$

Onde:

E : Consumo de energia no período selecionado.

19,516 (m): Inclinação da reta que é a razão do câmbio médio do consumo de energia em relação as AUD_{eq} .

AUD_{eq} : Áreas utilizadas dias equivalentes no período selecionado.

76,465 (E_0): Intercepto da linha no eixo y que representa a energia não associada as AUD_{eq} .

$19,516 \cdot AUD_{eq}$: Energia usada nas AUD_{eq} .

Com os dados obtidos a partir da equação da reta gerada pelo gráfico da Figura 4.10 é possível conhecer mediante a equação (4.19) o por cento de energia não associada que é o alvo a diminuir.

$$E_{na} = \left(\frac{E_0}{E_m} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{76,465}{260} \right) \cdot 100\% = 29,4\% \quad (4.19)$$

Nesta equação (4.19) as variáveis são:

E_m : É o valor médio dos dados de consumo energético utilizados para realizar o análise final representado na Figura 4.10.

E_{na} : É a percentagem da energia não associada.

O valor da percentagem da energia não associada achado foi de um 29,4%. Este valor de E_{na} tem como possíveis causas:

- -Uso das áreas e dos equipamentos, luminária, etc. fora do horário normal de trabalho.
- -Eletricidade consumida nas áreas comuns do prédio.
- -Energia utilizada nos serviços de manutenção.
- -Eletricidade consumida nas áreas de circulação.

- **Atividade F: linha meta e diagnóstico energético do prédio.**

A partir dos resultados obtidos com a *linha base* é definida a *linha meta*. Esta é elaborada com os pontos que estão sob a linha base (vide Figura 4.10) e que representam o comportamento mais eficiente do prédio na faixa de tempo avaliado. Ao gerar as linhas base e meta, elas representam o estado atual do consumo do prédio (*Linha base*) e o consumo que poderia ter (*linha meta*) se, no prédio, é utilizada de melhor forma a energia. O espaço entre elas, representa a energia que é possível economizar só com boas práticas sem nenhum investimento na modificação dos espaços ou troca de equipamentos.

Sendo determinada a linha meta (vide Figura 4.11), é possível obter o valor real da energia não associada. A diferença entre 76,465 (parte do gráfico na cor azul) e 58,078 (parte do gráfico na cor laranja), entrega a quantidade de energia não associada que é possível economizar. Em este caso o valor é de 18,387kWh/dia. Ao ser este multiplicado por os 168 dias úteis do ano, omitindo os dias de férias no curso, fim de semana e dias feriados, a cifra se incrementa até 3 089,016kWh /ano. Isto representa uma economia anual de 12% no consumo energético. Este

resultado é interessante não só como elemento isolado, mas como parte do conjunto que forma o Campus. Sé todos os prédios da universidade teriam uma economia com esta percentagem o valor seria uma cifra importante mais do que já representa para só um prédio.

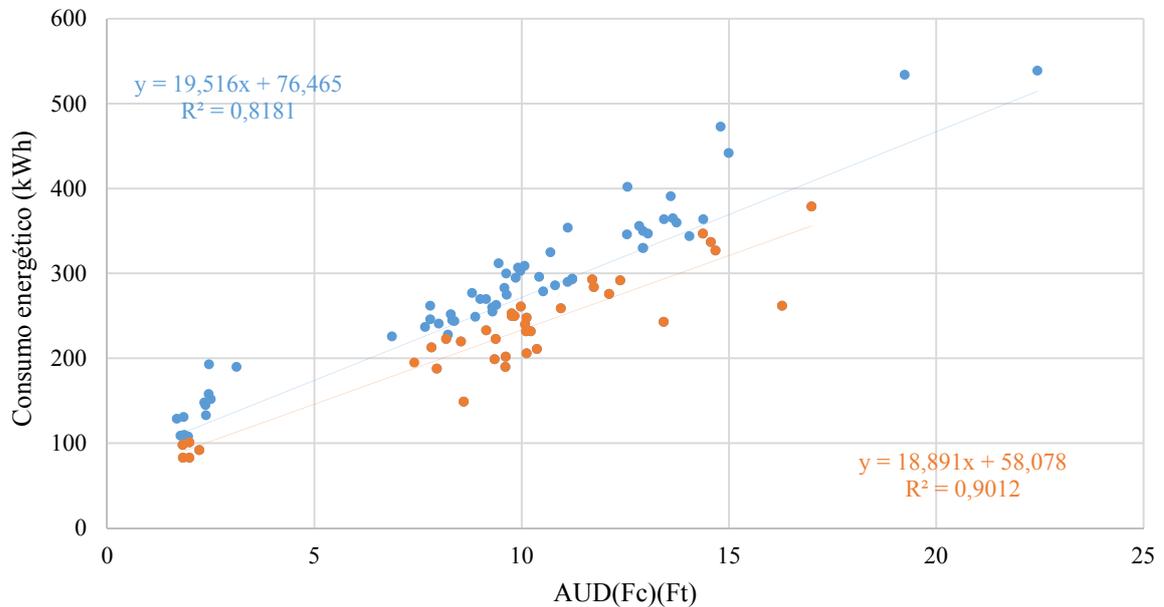


Figura 4.11-Consumo vs AUD(Fc)(Ft)

○ Índice de consumo (IC)

IC é a quantidade de energia por unidade de produção ou serviço, medido em termos físicos. Relaciona a energia consumida, com os indicadores da atividade expressados em unidades físicas. O índice de consumo é possível achar só depois da obtenção do gráfico de Consumo vs AUD(Fc)(Ft) representado na Figura 4.11. Com a equação da reta $E = m \cdot P + E_0$ obtida a traves da *linha base* e com um valor de correlação preferentemente maior que 0,75, é calculado o IC com a equação (4.20).

$$IC = m + \frac{E_0}{AUDeq} \quad (4.20)$$

Onde, são substituídos os valores de m (19,516) e E_0 (76,465) obtidos na equação da reta da *linha base* presente na Figura 4.11.

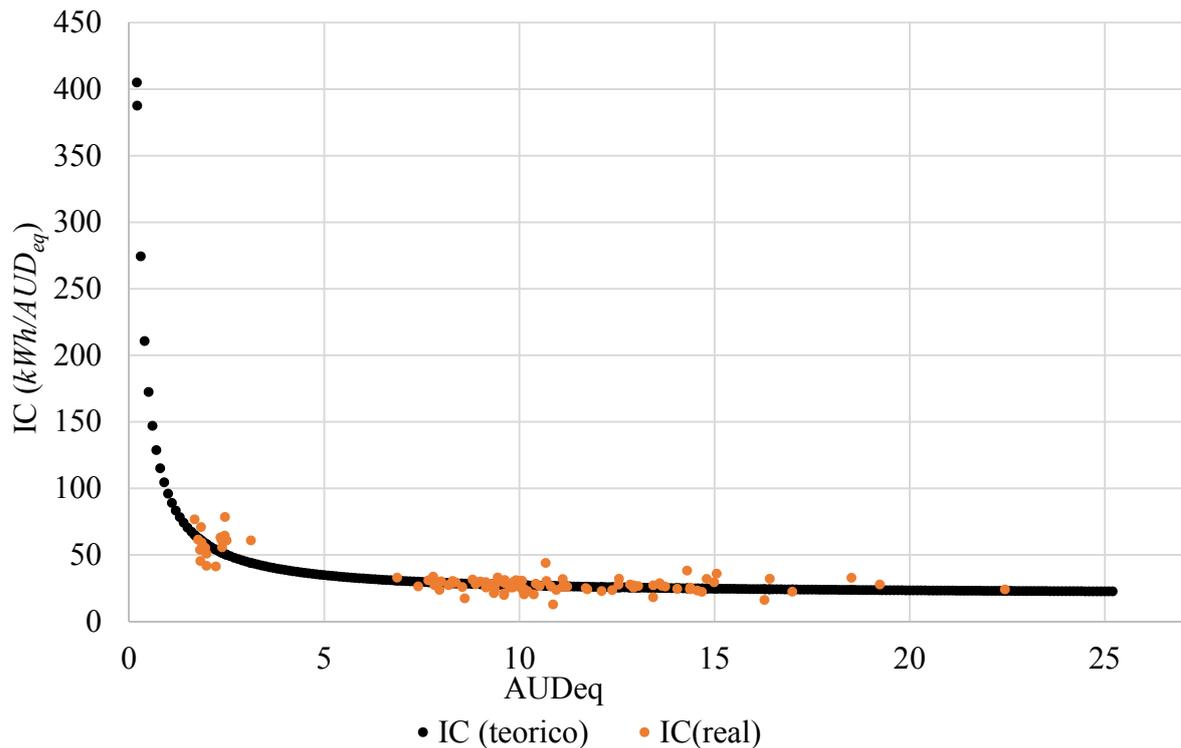


Figura 4.12-Índice de consumo vs $AUDeq$

Ao obter o gráfico do índice de consumo (Figura 4.12) se mostra como na medida que o valor de $AUDeq$ é menor, aparecem valores de consumo de energia maiores. Isto representa a existência de um sobre consumo provocado pelo aumento da energia não associada a produção que neste caso seria por exemplo uma sala de aula com todas as luminárias ligadas e só 2 (dois) alunos nela. A curva formada por IC teórico divide o consumo eficiente do sobre consumo. Os valores de IC real que estão sob a curva, indicam os pontos de incremento da eficiência no consumo, e os acima da curva representam o sobre consumo energético. A diferença entre o IC teórico e os valores do IC real acima da curva representam o potencial de eficiência no consumo de energia.

Analisando a gráfica da Figura 4.12 é demonstrado que existe um potencial de aumento na eficiência devido aos pontos de IC real acima da curva os que geram valores positivos ao ser restados com o valor dos pontos de IC teórico.

- Gráfico de tendência o de somas acumulativas ($CUSUM$)

Este gráfico é para monitorar a variação no consumo de energia no prédio num período de tempo específico e comparar o consumo deste com anos diferentes e/ou períodos tempo de diferentes e determinar o que foi gasto e se teve um nível de eficiência positivo o foi ineficiente com respeito outro tempo em uma data igual à estudada. Ele é apresentado neste trabalho mais

como ferramenta de análise que poderia ser utilizada posteriormente às modificações para comprovar alguma alteração de resultados positivos ou negativos.

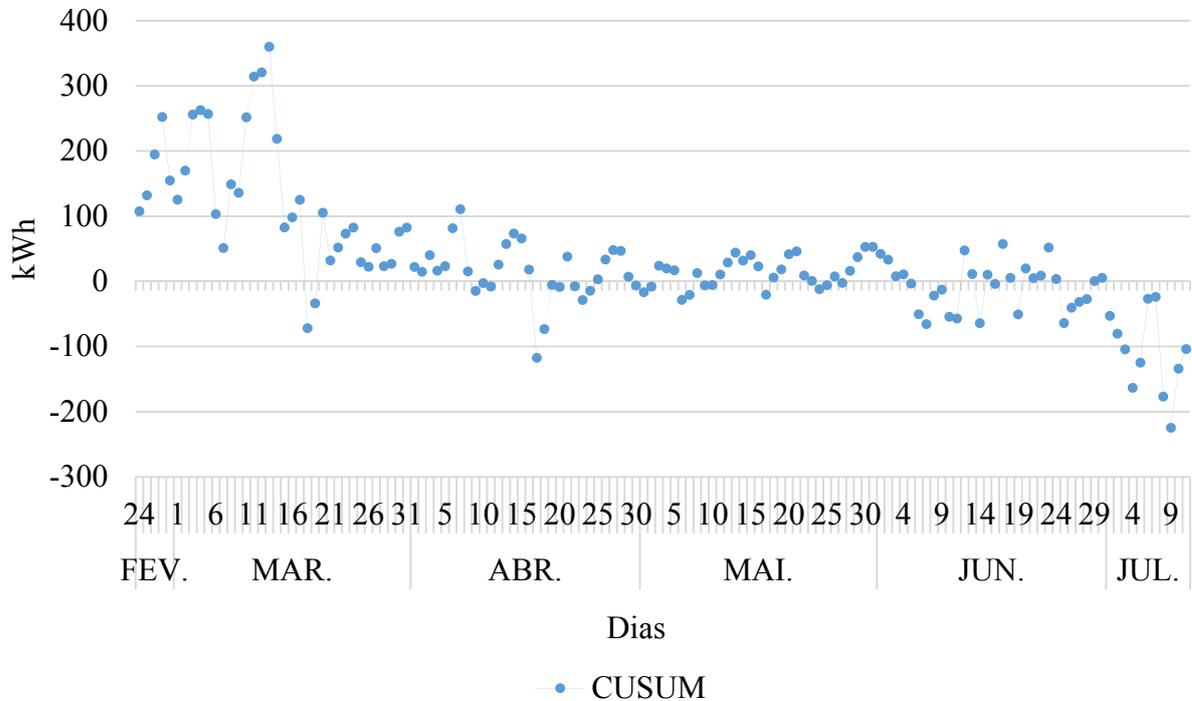


Figura 4.13-Tendência do consumo energético no período avaliado.

Como é possível observar na Figura 4.13 segundo vai transcorrendo o tempo a linha de tendência do consumo CUSUM vai descendo junto à temperatura devido à mudança sazonal que provoca a diminuição da temperatura. Em fevereiro-março o consumo é superior que no resto da gráfica tendo um pico de consumo no março 13. Já nos outros meses que continuam na gráfica a curva vai descendo até chegar em julho 9 onde tem o pico mais baixo na curva. A diferença no período analisado chega a ser de 200 kWh no menor dos casos e de 585 kWh nos picos mais pronunciados da gráfica.

Conclusões do capítulo

Neste capítulo se demonstra que são vários os fatores que incidem no consumo energético do prédio. As atividades que são realizadas nele e as pessoas que as realizam tem o forte impacto unido ao meio ambiente e as caracterizas dos espaços interiores juntos com os equipamentos. Foi comprovado com a metodologia aplicada, que o prédio tem um potencial de economia de energia de 12% sem realizar nenhuma modificação nele. Esta diminuição do consumo pode ser alcançada aplicando medidas de boas práticas. Além disso, se infere pelos indicadores

escolhidos na análise, que uma modificação nos espaços interiores e na fachada do prédio provocaria também um a diminuição considerável no consumo energético.

5 SOLUÇÕES PROPOSTAS

As soluções propostas neste trabalho têm como interesse mediante soluções passivas usar os recursos naturais que brinda o médio ambiente para tornar os espaços analisados dentro do prédio mais confortáveis termicamente. Isto tem como finalidade diminuir o uso contínuo de equipamentos de ventilação e iluminação artificial que aumentam o consumo de energia. Para isto foram propostas várias modificações nas 4 (quatro) fachadas do prédio em geral e reorganizações internas dos blocos dentro do prédio.

5.1 Projeto da proteção solar

Uma das soluções propostas é a colocação de *Brise soleil* (elementos de proteção solar exterior) nas janelas segundo precise o prédio durante todo o ano. Mas para o projeto da proteção solar é preciso a elaboração da carta solar para Itajubá. Ela vai nos dar o comportamento real do sol com respeito a esta posição geográfica, no seu percorrido diário em cada estação durante o ano todo.

A carta solar nada mais é a projeção da abóboda celeste em um plano horizontal com os pontos cardinais e o percorrido do sol em todo o ano. Esta tem forma de circunferência com os pontos cardinais nas bordas e dividindo a circunferência (abóboda celeste) em 4 (quatro) partes pelos eixos Leste-Oeste (abcissas) e Norte-Sul (ordenadas) como é observado na Figura 5.1. O percorrido do sol é representado desde o seu nascimento segundo a hora no lado leste até o pôr do mesmo no lado oeste. Neste caso na carta solar elaborada pelo autor da dissertação são marcadas em vermelho as trajetórias do sol começando pelo solstício de inverno (o dia mais curto do ano) no lado norte da carta solar e terminando no lado sul com o solstício de verão (o dia mais longo do ano). Entre estas são marcados o percorrido do sol no começo e fim de cada mês (Figura 5.1-Carta solar para Itajubá.). Com linha azul é marcado o posicionamento do sol na mesma hora cada mês obviando o horário de verão.

Para a elaboração de esta ferramenta gráfica foi preciso conhecer o Azimute solar (β) e Altitude solar (α) para cada hora do dia no primeiro dia de cada mês desde o nascimento até o pôr do sol em Itajubá. Todos esses dados foram obtidos segundo UFRGS (2015).

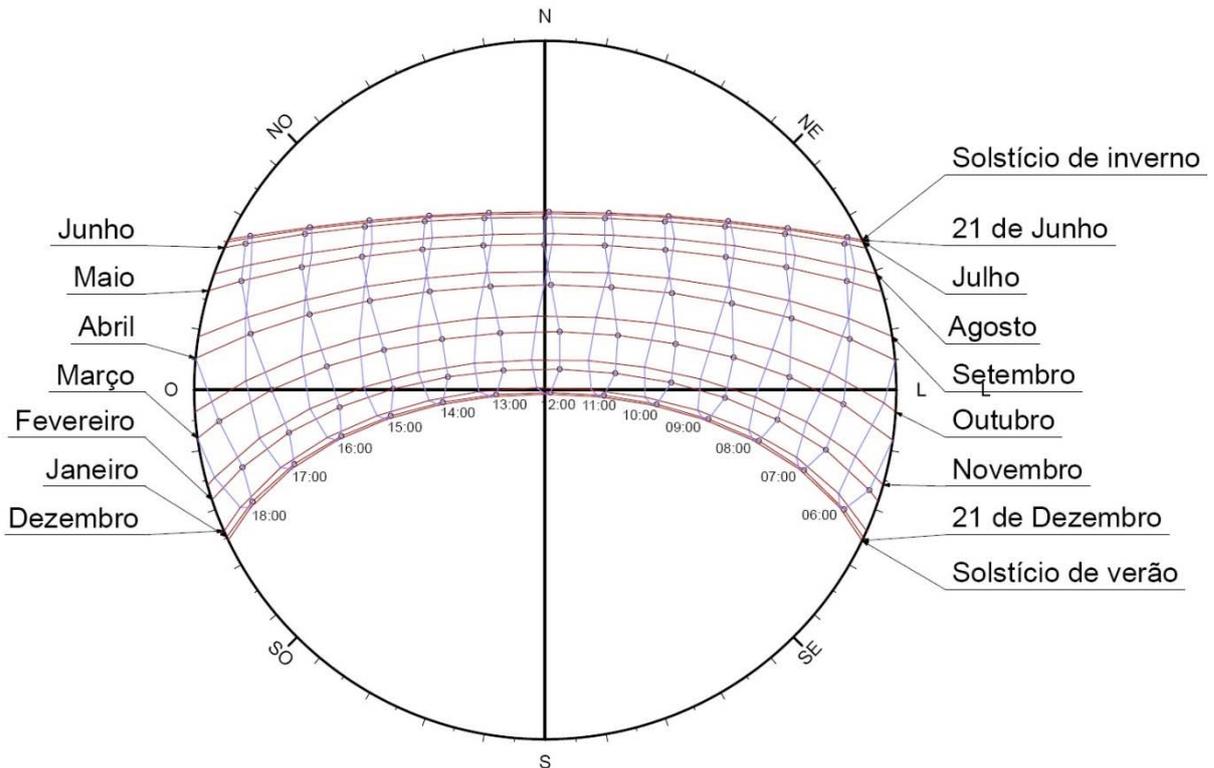


Figura 5.1-Carta solar para Itajubá.

Realizando uma interpretação da informação gráfica representada na carta solar para Itajubá (Figura 5.1) podemos visualizar como, do lado norte, é onde o sol marca o maior tempo o percorrido no ano principalmente nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro. Na segunda parte de janeiro e nos meses de fevereiro, março, outubro, e novembro o sol começa e termina o dia no lado sul. O primeiro de dezembro até dia 13 de janeiro o sol ao sul no tempo todo.

Para analisar estes dados com respeito a um edifício assumindo que esteja orientado para o norte verdadeiro isto quer dizer que:

Na maior parte do ano a fachada do prédio mais afetada pela incidência direta do sol é a norte. Isto implica maior ênfase no isolamento térmico na parede desta fachada e algum tipo de medida de proteção solar nas janelas.

As fachadas leste e oeste são afetadas todo o ano em uma parte do dia pelo que o isolamento térmico não é tão importante pelo tempo de duração da incidência dos raios do sol e as janelas segundo o projeto da fachada podem ser de pequeno tamanho.

A fachada sul é afetada só alguns dias do verão, porém com elevada radiação solar, sendo não tão necessária a proteção com isolamento térmico e os *Brise Soleil* seriam verticais.

Além de estas informações gerais extraídas da carta solar, é possível mediante o uso de outra ferramenta chamada transferidor apresentada na Figura 5.2 (a), saber em que posição colocar os elementos de proteção solar nas janelas do prédio estudado.

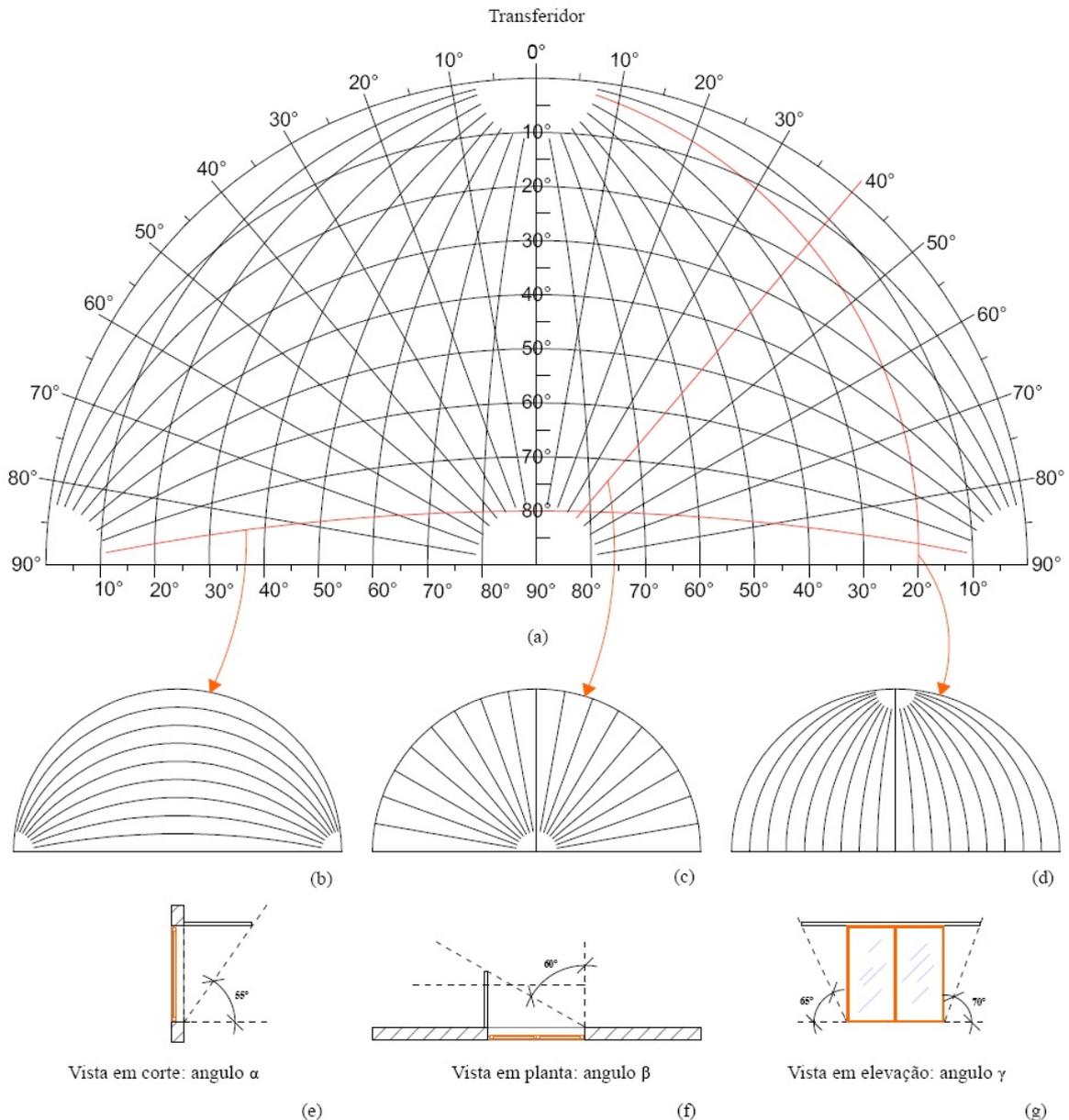


Figura 5.2-Transferidor.

O transferidor está composto por 3 grupos de linhas mostradas por separado na Figura 5.2 (b), (c), (d), cada grupo tem uma orientação diferente dentro do semicírculo e representam uma forma diferente de bloqueio dos raios do sol. O ângulo α (alfa) na Figura 5.2 (b) representa a proteção solar horizontal (Figura 5.2 (e)) a colocar para impedir a incidência direta do sol e o seu valor é dado em ângulo pelo eixo das ordenadas como é representado na Figura 5.2 (a). O ângulo β (beta) na Figura 5.2 (c) representa a proteção solar vertical que é possível colocar para

proteger a janela da incidência direta do sol como é visualizado na Figura 5.2 (f) e seus valores são obtidos em graus na borda circular do transferidor (Figura 5.2 (a)). O ângulo γ representa uma proteção horizontal, mas que bloqueia além do frente a lateral da janela. Os valores para o projeto desta proteção são obtidos também em graus no eixo das abscissas no transferidor na Figura 5.2 (a). Para usar o transferidor este é colocado acima da carta solar segundo a orientação que tenha a fachada analisada como é observado na Figura 5.3 (a), (b), (c) e (d).

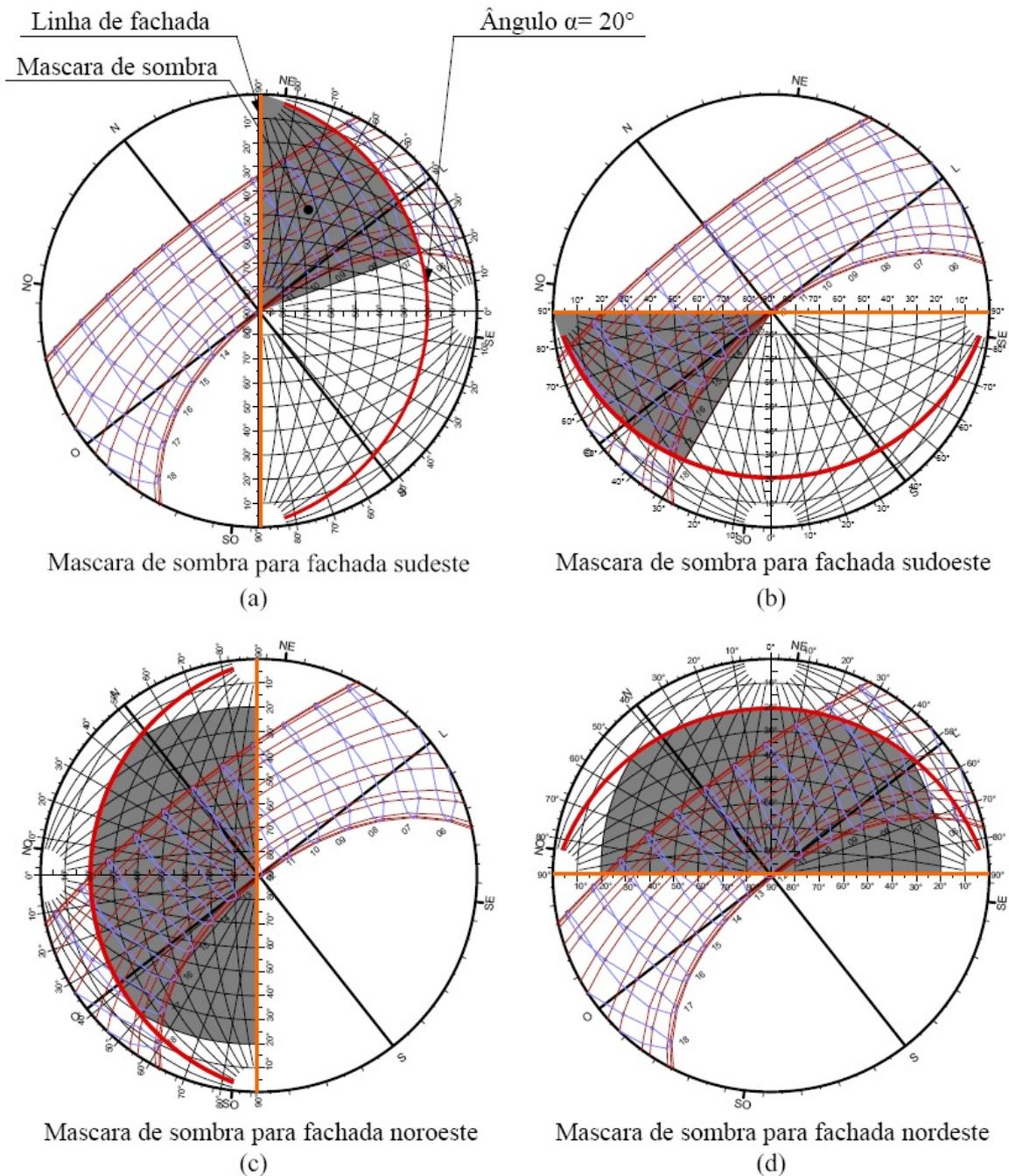


Figura 5.3-Resultado gráfico do uso da carta solar.

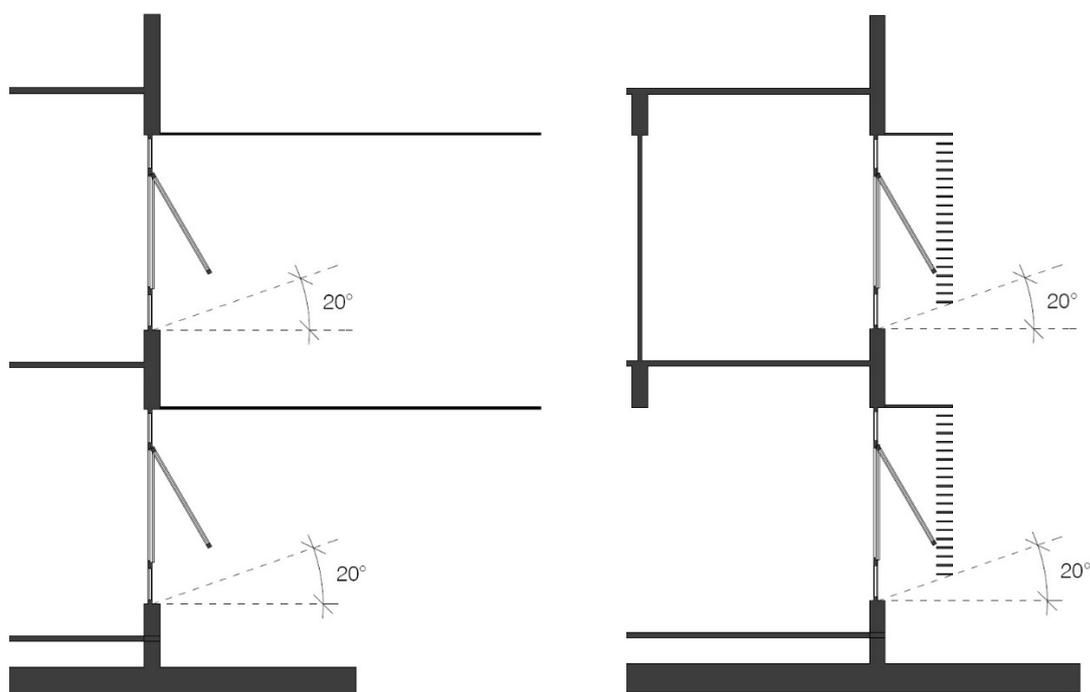
Na Figura 5.3 (a) está colocada a carta solar segundo a orientação do prédio com respeito ao norte (38° em direção leste) e o transferidor está sobreposta com seu eixo das abscissas na mesma orientação da fachada sudeste representada com uma linha laranja. Após este procedimento, é desenhada no transferidor uma mancha chamada de “máscara de sombreamento” que cobre o período do ano em que é preciso proteger à fachada da incidência direta do sol. Neste caso de estudo é de interesse a proteção todo o ano desde as 8:00 AM até 18:00 PM como é representado na Figura 5.3 (a). Feita a mancha é analisado qual é a melhor solução para o projeto do elemento proteção (*brise soleil*). Neste caso da como resultado um elemento horizontal com um ângulo α de 20° . Este mesmo análise foi feito para todas as fachadas Figura 5.3 (b), (c), (d) e foi obtido o mesmo resultado pela própria orientação e a forma que tem o prédio (Tabela 5.1). Na realidade, a proteção raramente é no horário total devido ao médio circundante seja por ter prédios, árvores, geografia irregular ou pelo horário de uso do prédio ou pelo clima. Porém na realização deste trabalho foi tomada esta decisão para conseguir visualizar até que ponto a proteção é efetiva. Na Tabela 5.1 são colocados os resultados obtidos com o transferidor para cada ângulo nas diferentes fachadas do prédio estes resultados são visualizados na Figura 5.3.

Tabela 5.1-Angulos de proteção para as fachadas do prédio.

Ângulos	SUDESTE	SUDOESTE	NOROESTE	NORDESTE
(Alpha) α	20	20	20	20
(Beta) β	20	30	-	-
(Gamma) γ	-	-	20	20

Temos que, nas 4 fachadas segundo a hora, o sol incide diretamente durante todo o ano devido como foi dito anteriormente à mala orientação do prédio pelo que a proteção solar deve ser colocada em todas as janelas do prédio segundo a direção de incidência dos raios do sol. Isto é devido à orientação do prédio que está girado 38° do franco norte, em direção leste. A proteção solar horizontal representada pelo ângulo α (Figura 5.2) é a que aparece como a mais efetiva em todas as fachadas como é representado na Figura 5.3 com linha vermelha pelo que foi definido neste trabalho fazer uma proteção padrão para as 4 (quatro) fachadas. O valor obtido para o ângulo α com o transferidor foi de 20° (Figura 5.3) mas, como é mostrado na Figura 5.4 (a), este valor para o projeto de uma proteção solar horizontal única seria impossível pelas dimensões que alcançaria o elemento. Para solucionar este problema o *Brise soleil* foi dividido em vários elementos que somados fizeram o mesmo trabalho de bloqueio da luz nas janelas como é observado na Figura 5.4 (b). Estes foram afastados da fachada a uma distância suficiente

para que a janela abra com um ângulo de 30° para ter uma entrada maior de ar nos espaços Figura 5.4 (b).



(a) Elemento de proteção simples

(b) Elemento de proteção múltipla

Figura 5.4-Corte representativo do projeto do *Brise soleil* horizontal.

5.2 Modificação interna dos espaços.

No capítulo 3 foram descritas as características internas atuais do prédio marcando os problemas e seguidamente vão-se apresentar as soluções da proposta de projeto.

A seguir são descritos especificamente cada espaço mencionando os problemas e a solução criada para eles.

- **Salas de pesquisa:**
- **Solução**

Como é observado na Figura 5.5 e Figura 5.6, para resolver o problema da iluminação e ventilação natural nas salas de pesquisa, foram realocados e redimensionados os espaços sem diminuir a quantidade destes dentro da modulação geral. A sala de pesquisa foi colocada em contato direto com a fachada e foi incrementada a quantidade de janelas na fachada para ganhar mais área de ventilação e iluminação natural. Este mesmo espaço, também foi conectado ao

corredor interior mediante janelas o que gera uma ventilação interior que interconecta os espaços do bloco todo, gerando uma ventilação natural dentro deste (vide Figura 5.5).

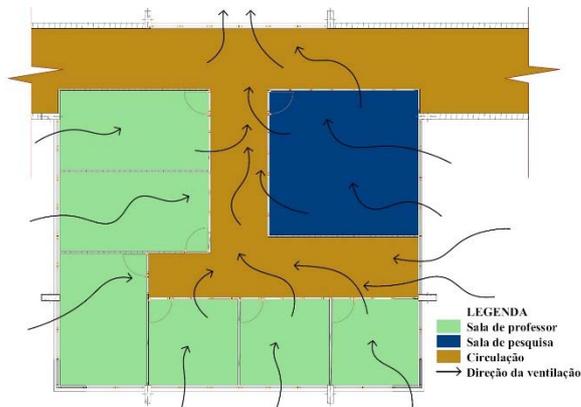


Figura 5.5-Distribuição dos espaços após a modificação para os blocos 04 e 07.

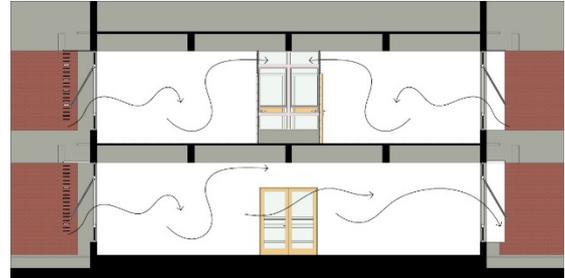
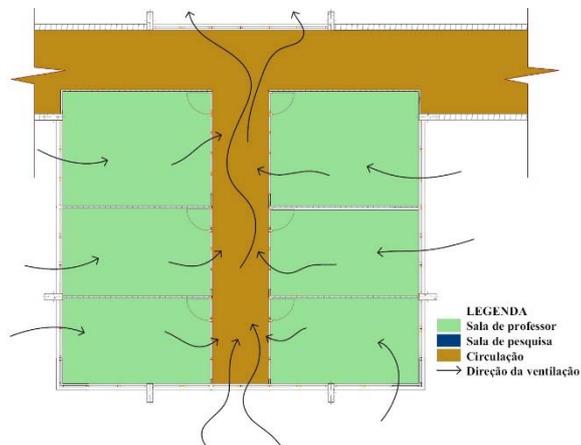


Figura 5.6 Corte demonstrativo da ventilação após a modificação nos blocos 04 e 07-A.

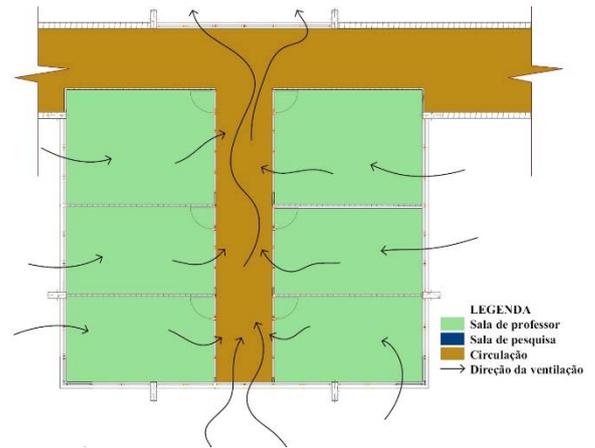
- **Salas dos professores:**
- **Solução**



Como é observado na Figura 5.7,

eFigura 5.9 para resolver o problema da iluminação natural dos acessos às salas dos professores priorizou-se o corredor tirando espaço de uma das salas, mas criando um ganho nas outras além da iluminação. Ao solucionar o problema da iluminação também foi resolvido o problema da ventilação pois as janelas abertas acima das portas (Figura 5.10) criaram um fluxo de ar cruzado que melhorou significativamente a ventilação natural, dando saída ao ar por meio da circulação

Figura 5.8



cruzada como é possível observar nas Figura 5.7,

Figura 5.8, Figura 5.9, e Figura 5.10 e não através da convecção como era feito anteriormente.

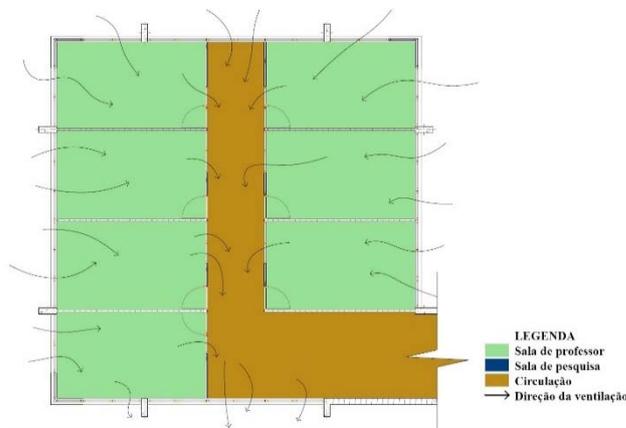


Figura 5.7-Distribuição de espaços após a modificação no bloco 01, andar 01.

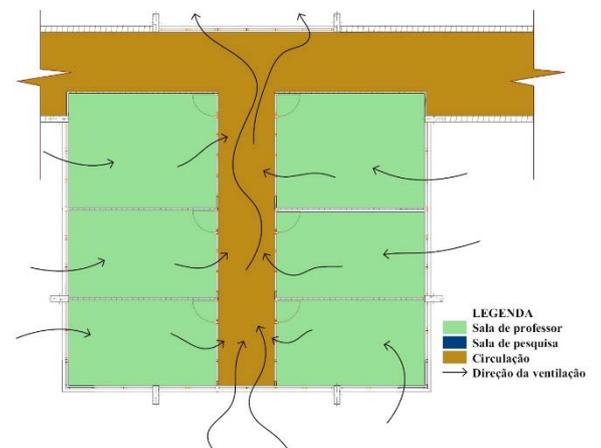


Figura 5.8- Proposta de distribuição dos blocos de professores com 6 salas.

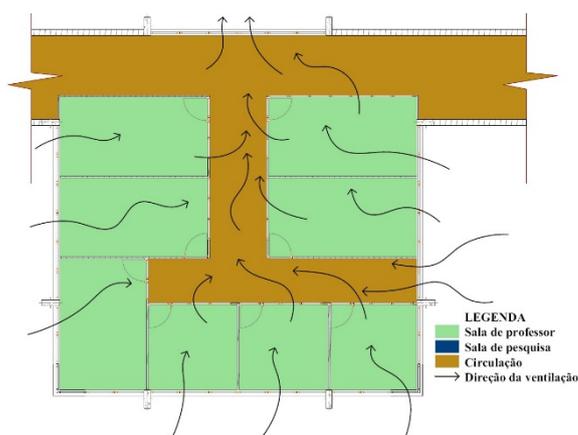


Figura 5.9- Proposta de distribuição dos blocos de professores com 8 salas.

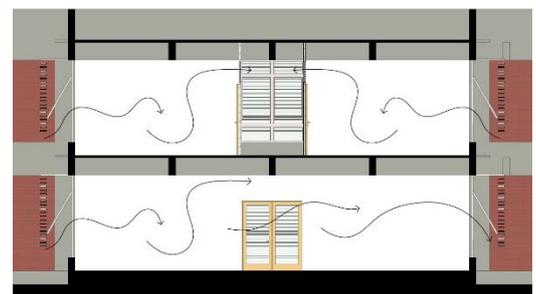


Figura 5.10 Corte demonstrativo da ventilação após a modificação nos blocos 04 e07-A.

- **Principais soluções em geral**

Como aprimoramento no projeto buscou-se soluções que provocaram o menor dano possível ao prédio e que geraram uma melhor qualidade ambiental dentro dos espaços de trabalho e estudo. Como principais melhorias almejadas, tem-se:

- Incremento na iluminação natural.
- Criação da circulação de ar natural nos espaços.
- Melhora das condições de trabalho.
- Potenciação para uma possível diminuição do consumo energético.
- Menor dependência de equipamentos elétricos para acondicionamento de ambientes.
- Menor uso de iluminação artificial.

Em geral só foram alterados três tipos de áreas (ver Tabela 5.2) nas que o máximo de variação foi para as salas de pesquisa com um 10% de incremento no tamanho das áreas e a circulação que também aumentaram num 3,4%. Mas como o prédio sofreu modificações internamente é lógica a diminuição de outros espaços neste caso diminuiu as salas dos professores num 3,3% na Figura 5.11 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar melhor as trocas feitas no interior do prédio de maneira geral.

Tabela 5.2-Principais alterações feitas no prédio

Espaços	Área atual (m²)	Proposta (m²)	Aumento (%)	Diminuição (%)
Circulação	672,64	695,19	3,4	-
Salas de professores	727,97	704,31	-	3,3
Salas de pesquisadores	42,58	47,04	10,5	-



Figura 5.11-Andar superior do prédio com todas as alterações feitas

Como resultado das trocas realizadas nos espaços e fachada houve um aumento significativo da ventilação natural dos espaços. A Figura 5.12 mostra (grafado em laranja) os valores em m^3/s da vazão de ar correspondente à ventilação natural nos espaços, e os valores representados em azul correspondentes à circulação de ar no interior dos espaços com a proposta de reforma (em direção perpendicular à fachada e cinza para o ar em direção oblíqua). As salas dos professores e as salas dos pesquisadores foram as mais beneficiadas como é observado na

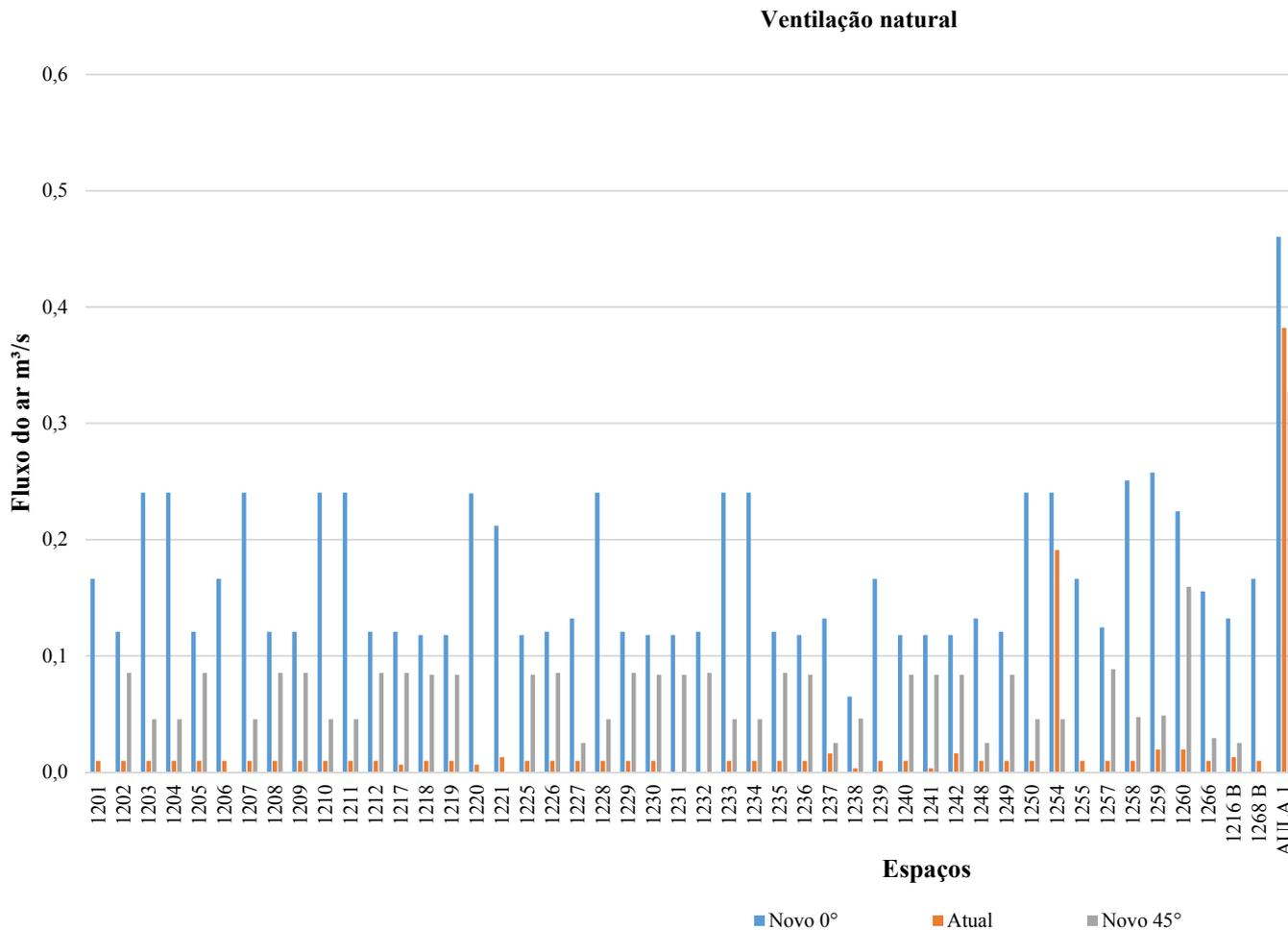


Figura 5.12, estas passaram de ter uma vazão de ar menor de 0,02 m³/s (cor laranja) para uma maior de 0,1 m³/s e em alguns casos superior a 0,2 m³/s (cor azul) para o ar em direção perpendicular. Já para o ar em direção oblíqua (cor cinza) à fachada os valores da vazão são menores, porém superiores ainda às condições atuais. Nas salas de aula e laboratórios com reforma proposta, o aumento da área de janelas proporcionou um incremento na ventilação natural, como é observado na

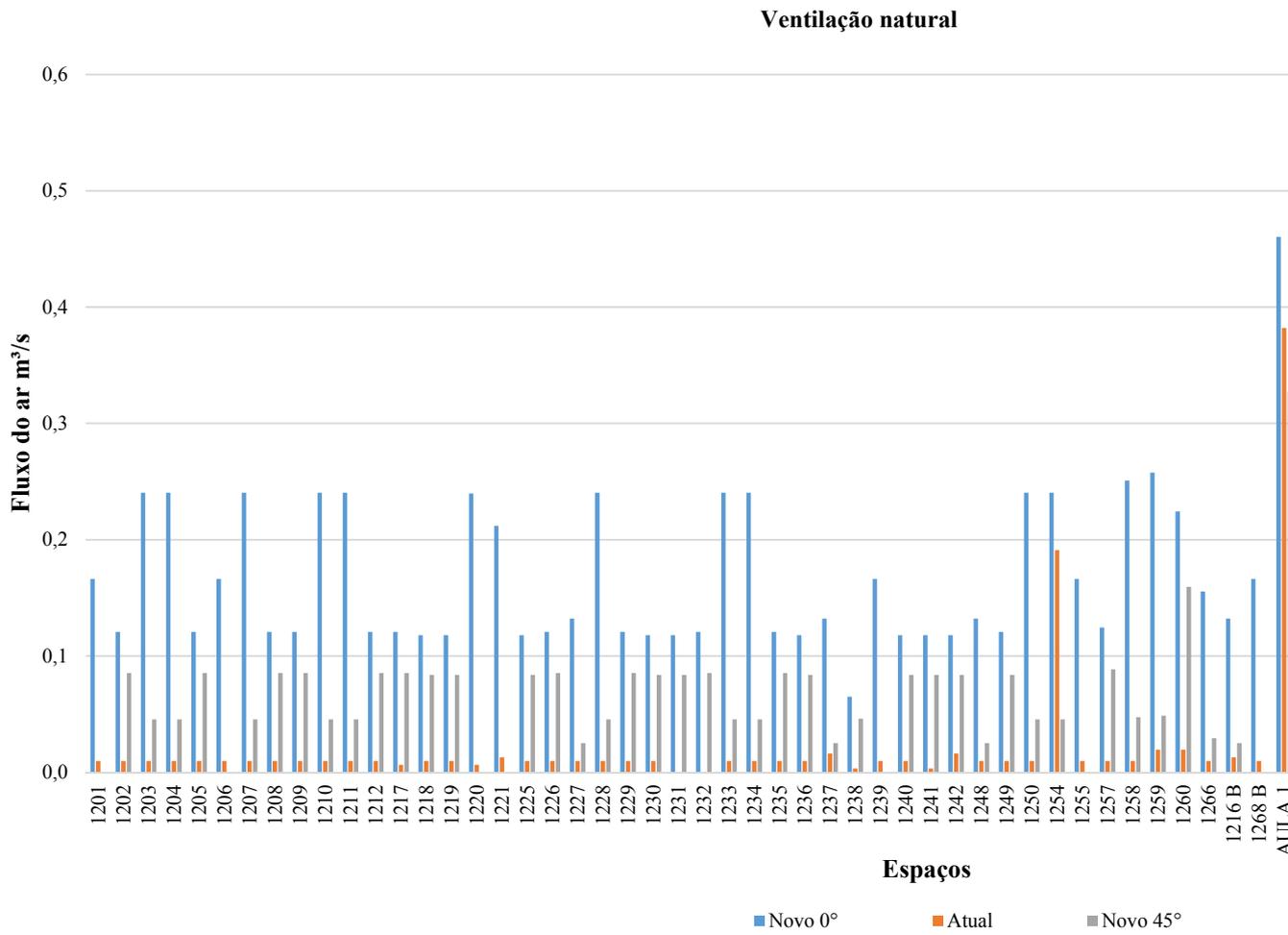


Figura 5.12, mas em menor medida porque estes espaços já possuíam ventilação cruzada (

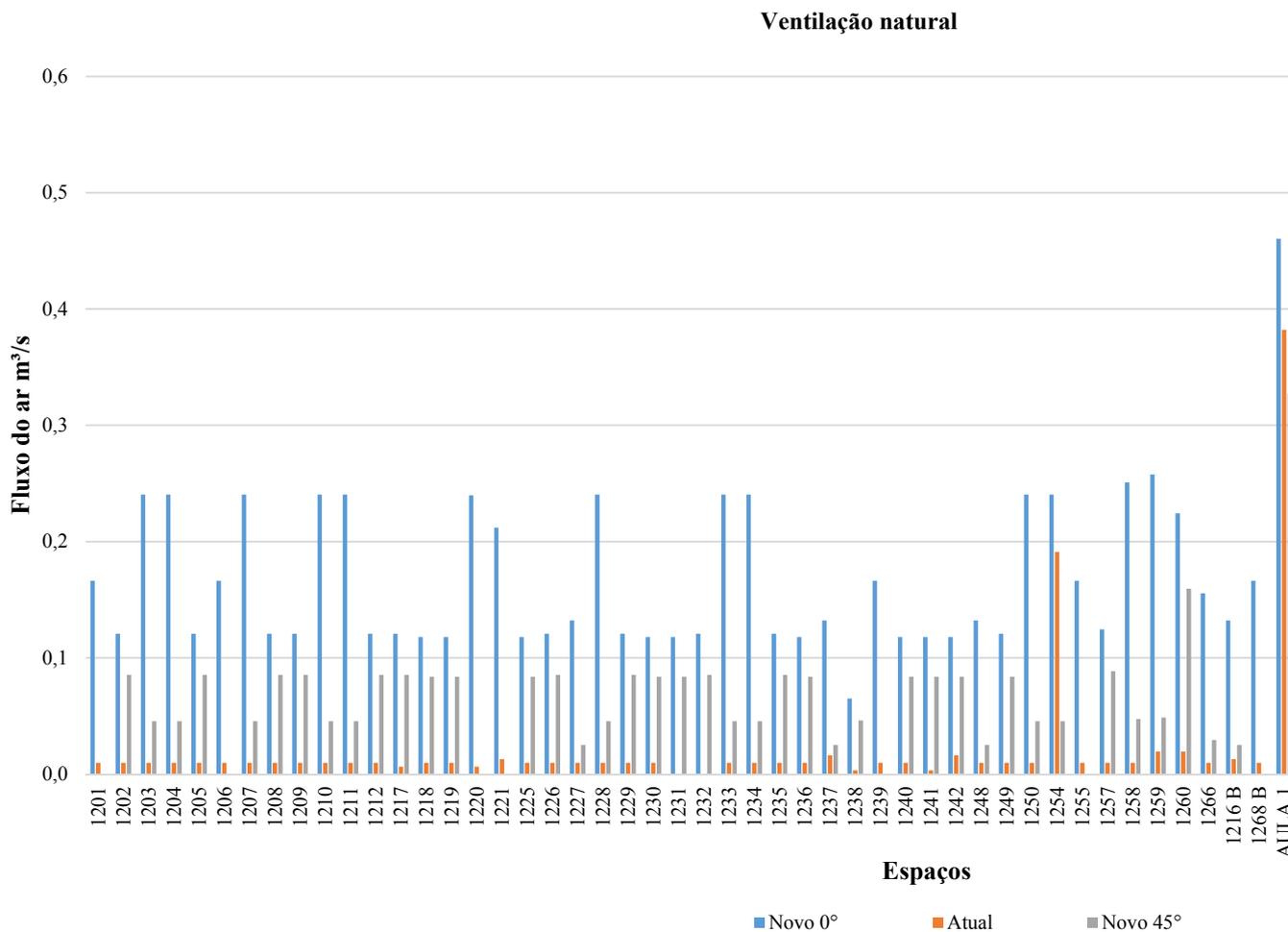


Figura 5.12).

Este gráfico foi obtido como resultado de 3 modelagens feitas calculando primeiro o prédio na situação atual com a incidência do ar perpendicular à fachada e depois usando a mesma metodologia, mas realizando o cálculo com as modificações recomendadas, utilizando 2 (duas) direções diferentes de incidência do ar: de maneira perpendicular (0°) e com uma inclinação de 45°. Foi calculado também para 75°, mas todos os resultados foram iguais a 45° pelo que não foi tido em consideração para a

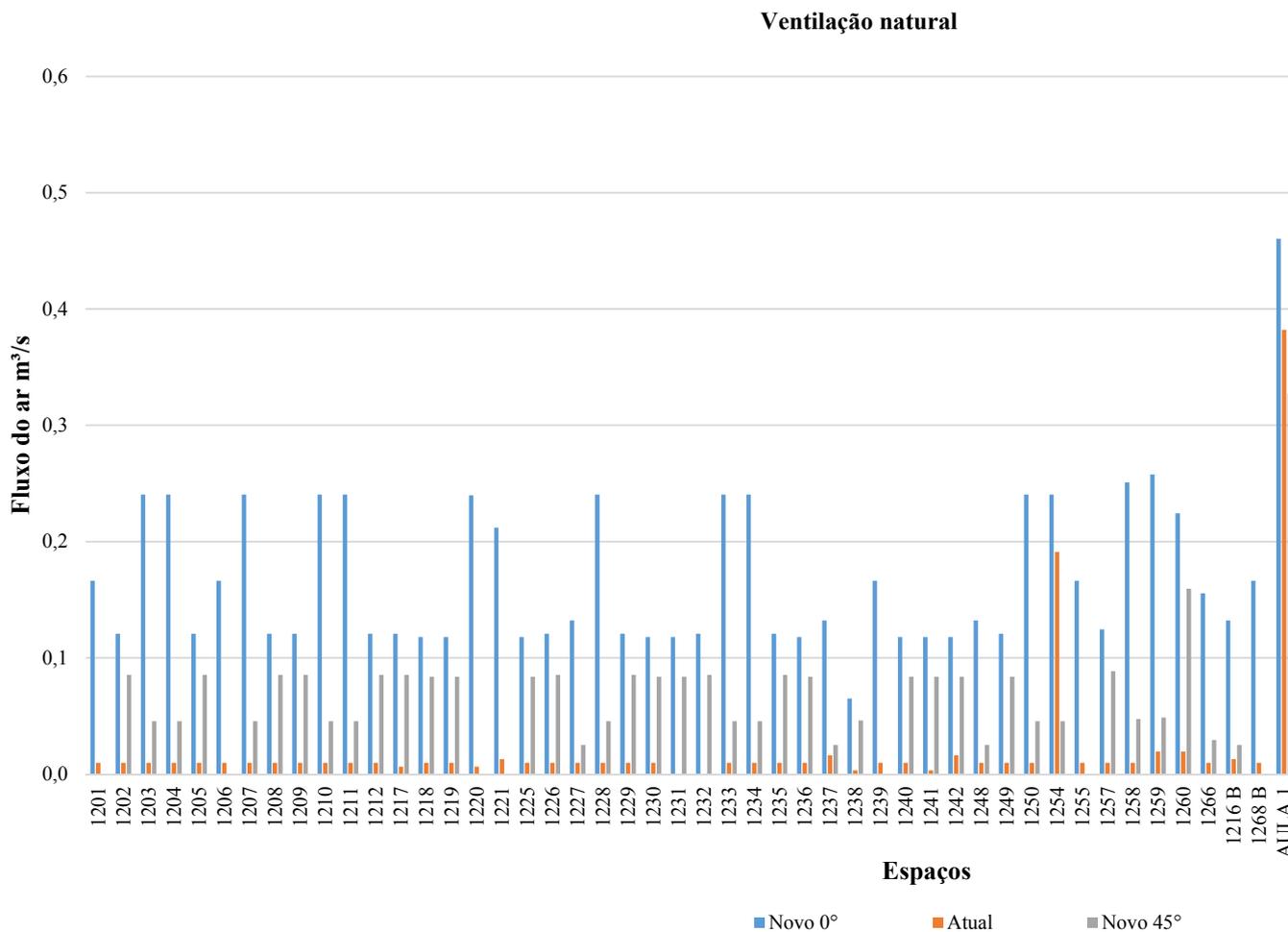


Figura 5.12. As modelagens foram feitas seguindo a metodologia de cálculo da ventilação natural desenvolvida na norma inglesa BS 5925:1991 (anexo 2).

Em geral o aumento da área de janelas na fachada foi de 13 %, o que provocou uma maior entrada de ar dentro dos espaços. O incremento da entrada ou circulação de ar foi de 32,9 % para os espaços que já possuíam ventilação cruzada pela disposição das janelas como é o caso das salas de aulas e laboratórios. Nos outros espaços, criou-se circulação de ar (inexistente antes da modificação) como é o caso das salas dos professores e as salas de pesquisa. Para isto foram inseridas 97 novas janelas pelo que a ventilação no interior de estes espaços aumentou em uma média de 92 %.

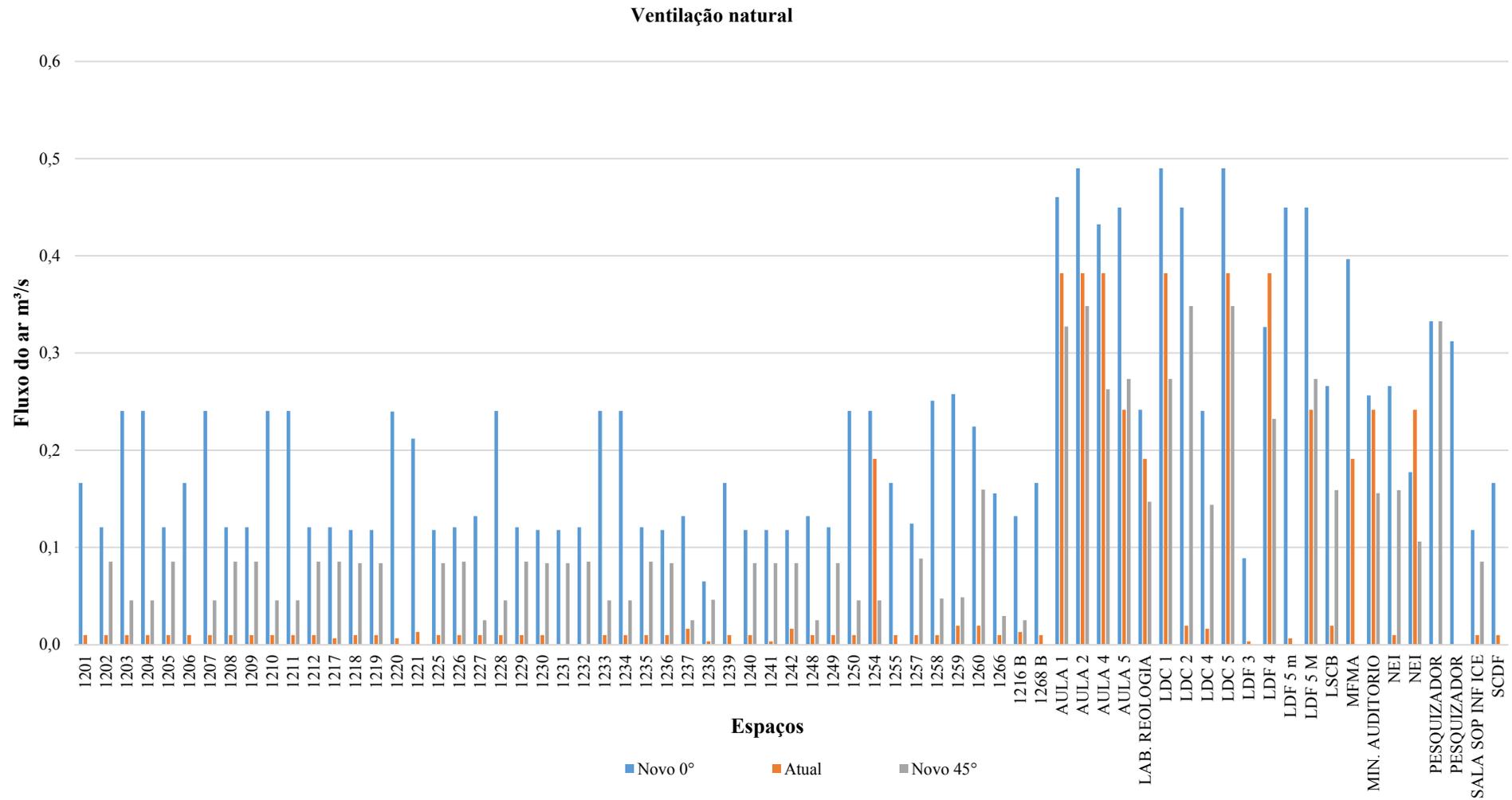


Figura 5.12-Comparação da ventilação com a situação atual e com as alterações propostas.

5.3 Soluções externas (modificação da fachada)

Uma das principais características da luz solar é que é indissociável da radiação, e esta última pode aquecer sobremaneira os objetos e espaços em geral. Como medidas fundamentais mais influentes no controle deste acréscimo de carga térmica é a orientação das fachadas do edifício preferencialmente orientadas ao sul e norte e as de menor área estejam em direção leste e oeste. Como a face norte possui maior incidência direta de sol o ano todo, este deve ser protegido por paredes com materiais isolantes e uma forte proteção solar por meio de elementos combinados horizontais e verticais. Estes elementos devem estar colocados preferencialmente do lado externo do prédio para evitar recepção e transmissão de calor. Do lado sul seria necessário somente uma pequena proteção horizontal que funcionaria pouco tempo por ano. As fachadas leste e oeste do prédio estudado possuem menor dimensão, e portanto, poderiam receber pequenas janelas ou nenhuma.

Neste caso o prédio analisado não tem a orientação mais favorável pelo que todas suas áreas recebem sol todo o ano, sendo difícil de controlar. Os *Brise soleil* propostos no projeto providenciariam o sombreamento adequado, entretanto, seriam abundantes, de fácil manejo e comuns. Outra coisa importante da proposta é que a solução é modular e serve para as 4 (quatro) fachadas embora tenham diferentes orientações. Nas figuras Figura 5.13, Figura 5.14, Figura 5.15 e Figura 5.16 é possível observar como nas fachadas do prédio na condição atual, as janelas estão desprotegidas e o sol incide diretamente nelas pelo que no interior dos espaços a carga térmica aumenta consideravelmente. Já com a modificação proposta, embora tenha aumentado a área de janelas como parte da proposta, estas estão sendo protegidas mediante os *Brise soleil* que provocam o sombreamento e bloqueiam a incidência direta da radiação solar o que diminui em grande medida a carga térmica dentro dos espaços. Para mostrar as diferenças da condição atual com a reforma proposta, as fachadas foram representadas em 21 de junho e 21 de dezembro as 10:00 horas para as fachadas noroeste e sudeste e as 16:00 horas para sudoeste e noroeste, sendo estes os momentos críticos do ano em termos de intensidade e incidência solar.



Elevação NE atual (acima) e com a modificação proposta (embaixo)
(21/12/10:00)



Elevação NO atual (acima), com a modificação proposta (embaixo)
(21/12/16:00)



Elevação NE atual (acima) e com a modificação proposta (embaixo)
(21/06/10:00)



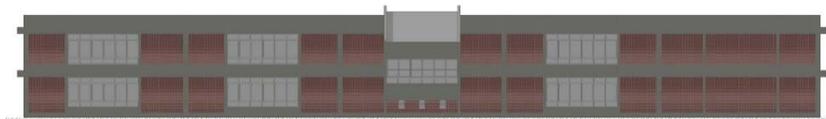
Elevação NO atual (acima) e com a modificação proposta (embaixo)
(21/06/16:00)

Figura 5.13- Elevação NE antes e depois com a proposta

Figura 5.14- Elevação NO antes e depois com a proposta

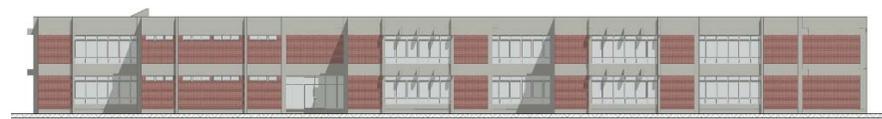


Elevação SO antes (acima) e com a modificação proposta (embaixo) (21/12/16:00)

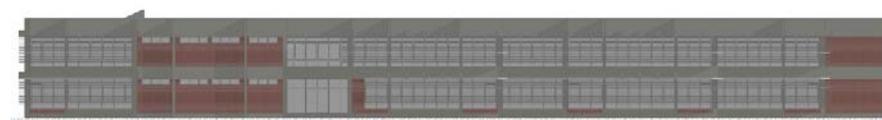
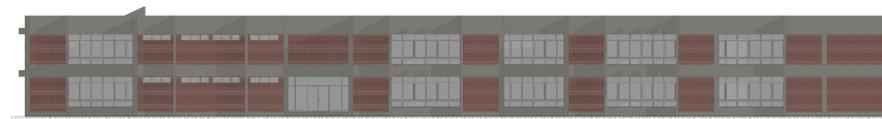


Elevação SO antes (acima) e com a modificação proposta (embaixo) (21/06/16:00)

Figura 5.15- Elevação SO antes e depois com a proposta



Elevação SE antes (acima) e com a modificação proposta (embaixo) (21/12/10:00)



Elevação SE antes (acima) e com a modificação proposta (embaixo) (21/06/10:00)

Figura 5.16- Elevação SE antes e depois com a proposta

5.4 Comprovação das modificações

Para comprovar se a proposta de projeto provocou alguma melhoria no aspecto do conforto térmico dentro dos espaços do prédio, foram desenvolvidas 6 modelagens mediante o uso do *software* Excel seguindo a metodologia de cálculo *Radiant Time Series* (RTS) apresentada pela *ASHRAE*® (anexo 3). As modelagens desenvolvidas foram:

- Cálculo da carga térmica do prédio nas condições atuais em inverno e em verão,
- Cálculo da carga térmica do prédio nas condições atuais, mas com *Brise soleil* instalados em inverno e em verão,
- Cálculo da carga térmica do prédio com as modificações propostas em inverno e em verão.

- **Resultado das modelagens.**

Os resultados das modelagens foram satisfatórios, pois foi obtida diminuição da carga térmica dentro dos espaços do prédio. Nas Tabela 5.3 e

Tabela 5.4 é apresentado o comportamento da carga térmica nas 24 horas do dia, comparando em % as 3 (três) modelagens feitas para o inverno e para o verão. Os resultados obtidos foram:

Inverno:

Prédio sem modificação

- Para o prédio sem modificação nenhuma, só com a proteção solar instalada, obteve-se como resultado uma diminuição média de 44% da carga térmica nas 24 horas do dia quando comparado com o prédio nas condições atuais sem proteção solar.
- Para o horário de trabalho estabelecido para a modelagem teve-se como resultado uma diminuição média de 35% da carga térmica quando comparado com o prédio nas condições atuais sem proteção solar.

Prédio com modificação

- Para o prédio com modificação na construção a qual consiste em uma abertura de 13% a mais na área geral das janelas, a diminuição foi de um 51% para as 24 horas do dia.
- Para o horário de trabalho fixado para a modelagem teve-se um 37% como resultado da diminuição provocada pelo sombreamento (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 Dados térmicos da modelagem, prédio atual vs proposta de modificado em inverno.

Horas do dia	Prédio atual (inverno)		Prédio modificado ² (W)	Diferença sem modificação ³ (%)	Diferença com modificação ⁴ (%)
	Sem <i>Brise soleil</i> (W)	Com <i>Brise soleil</i> ¹ (W)			
1	45.082	4.548	-13.233	90	129
2	37.341	-3.010	-20.772	108	156
3	30.068	-9.523	-27.194	132	190
4	23.330	-15.554	-33.234	167	242
5	18.103	-20.813	-38.364	215	312
6	12.868	-25.286	-41.914	297	426
7	150.521	105.621	91.766	30	39
8	194.403	116.907	109.504	40	44
9	227.918	128.751	125.934	44	45
10	250.857	142.735	141.942	43	43
11	263.158	157.732	157.415	40	40
12	265.172	171.686	170.567	35	36
13	264.990	184.985	183.697	30	31
14	286.002	195.663	194.093	32	32
15	310.237	203.580	200.443	34	35
16	325.765	210.727	205.269	35	37
17	306.162	212.460	200.747	31	34
18	280.363	212.123	196.726	24	30
19	130.648	73.649	56.393	44	57

20	108.325	58.617	41.113	46	62
21	90.535	45.239	27.888	50	69
22	75.710	33.104	15.664	56	79
23	63.667	22.744	5.375	64	92
24	53.379	13.135	-4.434	75	108

1: Com *Brise soleil* nas janelas, mas sem aumento de janelas na fachada.

2: Aumento da área de janelas num 13% com *Brise soleil*.

3: A diferença em % da carga térmica no prédio nas condições atuais com e sem *Brise soleil*.

4: A diferença em % da carga térmica no prédio nas condições atuais e com as modificações propostas.

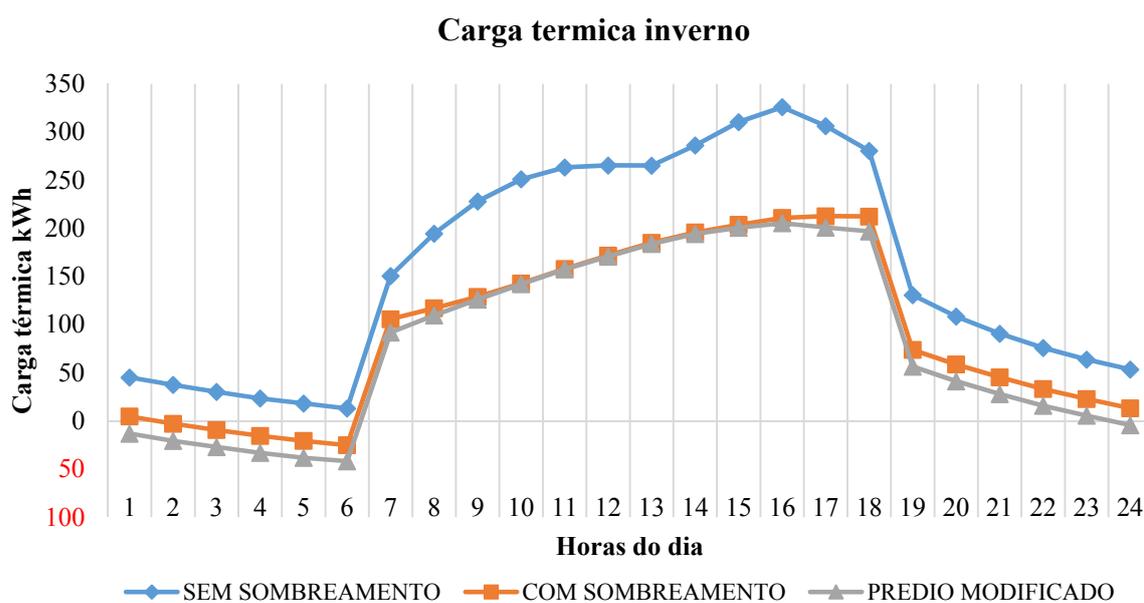


Figura 5.17-Comportamento da carga térmica nas modelações para o inverno.

Para observar melhor o comportamento da carga térmica no inverno nas diferentes modelações feitas, os resultados foram representados na Figura 5.17. Nesta é mostrado como a curva que representa a carga térmica do prédio sem modificação (azul) é superior às do prédio na condição atual com *Brise soleil* (laranja) e o prédio com as modificações propostas (cinza). A gráfica mostra também, como a curva do prédio atual com sombreamento (laranja) tem quase o mesmo comportamento que a curva do prédio com as propostas de modificação (cinza). Este resultado demonstra a efetividade dos *Brise soleil* posto que foi incrementado em 13% a área de janela na fachada e a carga térmica teve um incremento quase imperceptível.

Verão:

Prédio sem modificação

- Para o prédio sem modificação nenhuma, só com a proteção solar instalada obteve-se como resultado uma diminuição média de 32% da carga térmica nas 24 horas do dia.

- Para o horário de trabalho estabelecido para a modelagem teve-se como resultado uma diminuição média de 30%.

Prédio com modificação

- Para o prédio com modificação na construção a qual consiste em uma abertura de 13% a mais na área geral das janelas, a diminuição foi de 41% para as 24 horas do dia.

Para o horário de trabalho fixado para a modelagem teve-se 31% como resultado da diminuição provocada pelo sombreamento (

- Tabela 5.4)

Tabela 5.4-Dados térmicos da modelagem, prédio atual vs proposta de modificação em verão.

Horas do dia	Prédio atual (verão)		Prédio modificado ² (W)	Diferença sem modificação ³ (%)	Diferença com modificação ⁴ (%)
	Sem <i>Brise soleil</i> (W)	Sem <i>Brise soleil</i> ¹ (W)			
1	108.851	63.391	44.310	42	59
2	96.123	52.003	33.447	46	65
3	85.551	42.407	24.232	50	72
4	75.458	33.528	15.559	56	79
5	65.269	25.227	7.628	61	88
6	74.389	20.436	5.482	73	93
7	224.100	151.681	140.423	32	37
8	244.471	162.398	155.986	34	36
9	257.950	175.348	172.693	32	33
10	264.052	189.653	189.251	28	28
11	262.453	204.462	205.359	22	22
12	252.879	215.621	216.822	15	14
13	278.059	236.342	243.334	15	12
14	316.282	250.133	256.869	21	19
15	358.816	264.007	267.604	26	25
16	397.522	276.779	274.198	30	31
17	421.926	286.916	276.794	32	34
18	414.878	292.310	274.350	30	34
19	243.110	157.668	133.312	35	45
20	210.974	143.469	118.702	32	44
21	182.709	125.645	102.405	31	44
22	158.487	107.393	85.697	32	46
23	138.772	91.064	70.754	34	49
24	122.864	76.405	56.813	38	54

1: Com *Brise soleil* nas janelas, mas sem aumento de janelas na fachada.

2: Aumento da área de janelas num 13% com *Brise soleil*.

3: A diferença em % da carga térmica no prédio nas condições atuais com e sem *Brise soleil*.

4: A diferença em % da carga térmica no prédio nas condições atuais e com as modificações propostas.

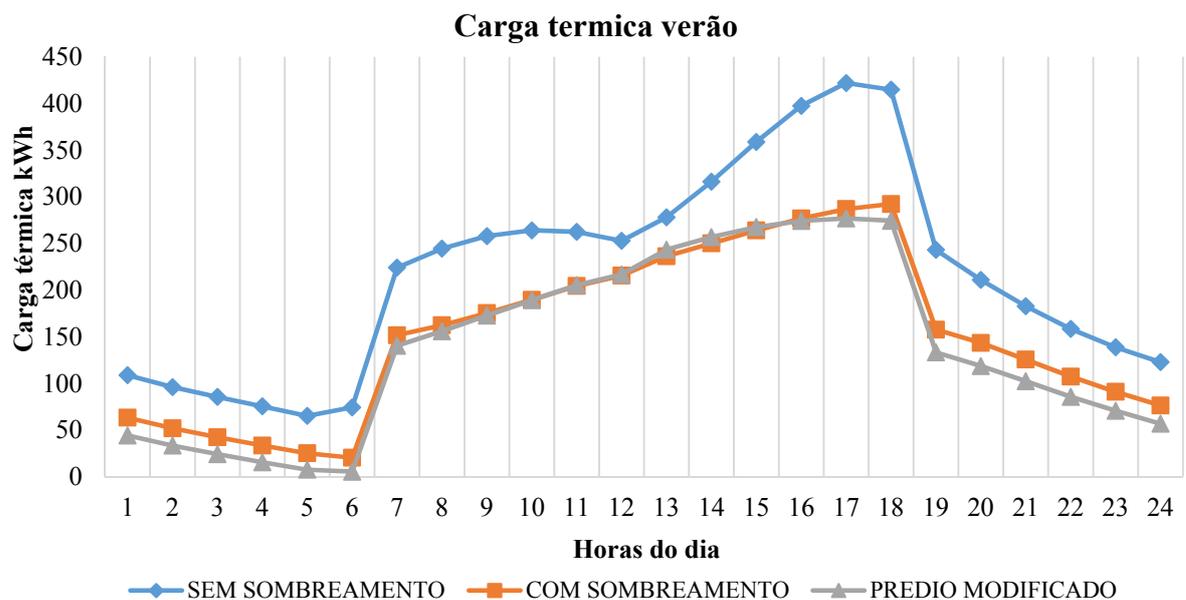


Figura 5.18 Comportamento da carga termica nas modelações para om verão.

O comportamento da carga térmica no verão é bem parecido com do inverno como demonstra a Figura 5.18. A curva que representa a carga térmica do prédio sem modificação (azul) é superior às do prédio na condição atual com *Brise soleil* (laranja) e o prédio com as modificações propostas (cinza). A gráfica mostra também, como a curva do prédio atual com sombreamento (laranja) tem quase o mesmo comportamento que a curva do prédio com as propostas de modificação (cinza). Outro resultado interessante é a diminuição da carga térmica após o pôr do sol uma vez que, ao aumentar a área de janela diminui-se a superfície opaca, que tende a acarretar em maior inércia e atraso térmico. Isto diminui o calor provocado pelo atraso térmico das paredes no interior dos espaços o que altera ainda mais o resultado mostrado na Tabela 5.3. Além disso, é bloqueada a incidência direta do sol dentro dos espaços na área de janelas o que face zero o ganho de calor pela radiação solar e solo é tomado em consideração o ganho de calor difuso para a carga térmica.

- **Comprovação das modificações com a norma RTQ-C**

Aplicando a RTQ-C para a envoltória do prédio com as modificações aplicadas os resultados foram também positivos. Na Tabela 5.5 é possível observar as modificações que tiveram os diferentes fatores a partir das mudanças na envoltória do prédio.

Tabela 5.5 comparação dos fatores antes e depois

Fator	Prédio Atual	Prédio com modificações
Ape (Área de projeção do prédio)	2288,84	2288,84
Atot (Área total construída)	4577,7	4577,7
Aenv (Área da envoltória)	7020,9	7020,9
FC (Fator de correção)	0,0	2,2
AVS (Ângulo vertical de sombreamento)	0,0	45,0
AHS (Ângulo horizontal de sombreamento)	46,25	54,9
FF (Fator de forma)	0,45	0,45
FA (Fator de altura)	0,5	0,5
FS (Fator solar)	0,88	0,88
PAFT (Percentual de abertura na Fachada total)	0,3	0,4

A área total da fachada é de 4 732,056m², nas características atuais do prédio a quantidade de janelas existentes é de 1 379,89m² o que representa um 29% do total, a bibliografia em geral menciona 30% como a relação ideal entre janelas áreas opacas e translúcidas. Depois das modificações a área de fachada geral manteve-se com as mesmas dimensões variando só a área de janelas em um 13% obtendo em total uma área de 1 977,362m² que representa o 42% da área total de janelas. Seguindo a metodologia da RTQ-C já aplicada anteriormente foram substituídos os novos valores na equação 3.1:

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -14,14 \cdot 0,5 - 113,94 \cdot 0,45 + 50,82 \cdot 0,4 + 4,86 \cdot 0,88 - 0,32 \cdot 45 \\
 & + 0,26 \cdot 45 - \frac{35,75}{0,45} - 0,54 \cdot 0,4 \cdot 45 + 277,98 = 152,60
 \end{aligned}$$

Este valor de IC_{env} obtido é colocado na Tabela 5.6 para ver em qual categoria de eficiência está localizado o prédio depois das modificações.

Tabela 5.6 Níveis de eficiência da RTQ-C

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	153,3	160,0	166,7	173,3
Resultado	152,60	-	-	-	-
Limite Máximo	153,3	160,0	166,7	173,3	
Classificação gráfica	A	B	C	D	E

As modificações provocaram um resultado positivo colocando o prédio na categoria de Nível A. A colocação da proteção solar foi tão importante que, embora a área de janelas aumentar em 13% a eficiência da envoltória também, aumentou ao ponto de colocar ao prédio no maior nível na classificação da norma RTQ-C. A área de janela com respeito da área de parede ficou em 42% contradizendo à literatura estudada, que define como relação ideal o 30% de janela com respeito às paredes (WWR). A proteção solar das janelas mostra que eliminando a incidência direta de insolação esta relação pode variar e ainda ter bom desempenho dentro dos parâmetros estabelecidos.

- **Análise de viabilidade econômica.**

Durante a realização desta pesquisa o prédio estudado foi reformado em algumas áreas. As obras ocorreram somente no primeiro andar e entre as modificações se encontra o aumento das áreas de janela na fachada e a reordenação dos blocos 03, 08, 09 e 10. Na Figura 5.19 é marcada em cinza a zona modificada. Esta área de 1 111,17 m² representa o 24,27 % de todo o prédio que tem de área construída de 4 577,68 m². A reforma teve um valor total de R\$ 997 330,99 (dado extraído do Processo 23088. 004003/2013.28 - Contrato 011/2014 - Reforma das salas do ICE) existente na Diretoria de contabilidade e Finanças (DCF).

Para fazer uma análise de viabilidade econômica e ter uma ideia geral do custo aproximado de uma modificação com proteção solar, foram levantados dados do custo real de alguns elementos dentro da obra de reforma tendo em consideração o peso deles dentro do valor geral e a similitude deste em comparação com a reforma proposta neste trabalho. Na

Tabela 5.7 são mostrados os itens segundo a numeração que tem na ficha no documento oficial do processo. Cada atividade descrita na

Tabela 5.7 tem incluído o valor do material e mão de obra.

O valor total das modificações necessárias feitas no prédio atualmente e que correspondem em certa forma com a proposta deste trabalho representa 25 % do investimento total (

Tabela 5.7), ou seja, foi feita uma reforma necessária na qual tivesse sido possível inserir soluções passivas de eficiência energética para, além da simples melhoria necessária dos elementos construtivos, agregar soluções que diminuíssem o uso da energia para manter os espaços confortáveis no interior. Isto é importante pela própria natureza dos edifícios públicos herdados de outros tempos no quais não se tinha nenhuma consideração no uso de medidas passivas de eficiência energética. Vale ressaltar que a crise do petróleo gerou uma mentalidade mais de acordo com a vida na terra a partir dos anos 70, sendo muitos dos prédios públicos na atualidade feitos nessa época.

Tabela 5.7-Diferentes materiais e seus custos na reforma do ICE.

REABILITAÇÃO DO ICE						CUSTO TOTAL DA OBRA (RS)
Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)	
1.3	Remoção de porta ou janela metálica.	m ²	38,65	105,1	4062,12	
1.5	Remoção de divisórias em chapa de madeira e portas com montantes metálicos.	m ²	421	10,28	4327,88	
1.9	Demolição de parede de tijolo furado 9x19x19 cm.	m ³	51,87	55,87	2897,98	
2.1	Colocação de tijolos cerâmicos furados de 9x19x19 cm.	m ²	83,12	57	4737,84	
4.1	Porta de madeira compensada para pintura, inclusive batente, fechadura e dobradiça instalada em parede alvenaria ou DRY WALL (80X210).	Unid.	38	490,06	18622,28	
4.2	Porta de madeira banheiro revestida com laminado texturizado incluso marco e dobradiças.	Unid.	15	345,83	5187,45	
4.3	Janela de alumínio tipo Máxim com guarnições e vidro fantasia.	m ²	161,31	525,64	84790,99	
5.2	Fornecimento e instalação de parede de DRY WALL.	m ²	607,95	138,74	84346,98	
11.1	Pintura Látex PVA branco, em paredes e parede DRY WALL, duas mãos.	m ²	2626,42	10,92	28680,51	
11.2	Pintura em esmalte acetinado em madeira cor branco, duas mãos	m ²	193,7	20,62	3994,09	
13.9	Preparação para pintura em parede de gesso acartonado DRY WALL e forro de gesso, PVA/Acrilica com fundo selador	m ²	1174	3,98	4672,52	
TOTAL					246320,63	997330,99
					25%	100%

Todo prédio precisa em alguns momentos da vida útil, alguma reforma pela deterioração causada no uso diário, pelas intempéries ou pelas modificações de função para o qual foi originalmente projetado e por muitas outras coisas. É esse o momento para introduzir soluções passivas para melhorar termicamente os espaços interiores e diminuir o consumo energético

dentro do prédio. O custo elevado deste tipo de soluções *per se* não dá para obter um retorno de investimento em um prazo de 5, 6, ou 7 anos, mas uma alternativa que dependa de interesse e da oportunidade para concretizá-lo.

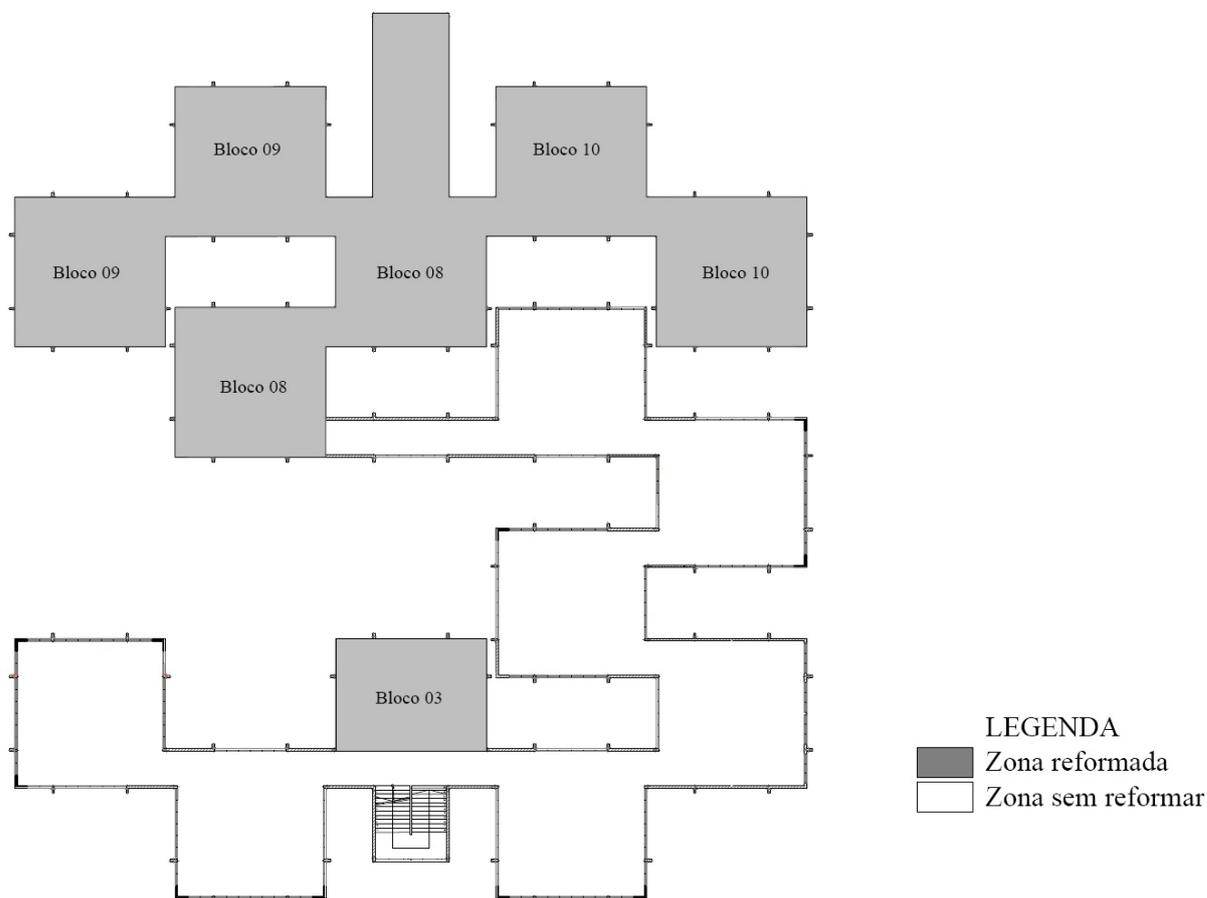


Figura 5.19-Área do prédio remodelada.

Além das modificações comuns possíveis e que não criem um aumento no custo de qualquer reforma, é preciso aumentar o valor do orçamento colocando no investimento a proteção solar que provoca a diminuição da carga interna dos espaços e as janelas interiores que aumentam a ventilação interior dos espaços que não existem na reforma feita atualmente. Estes 2 (dois) elementos representam um aumento de 17 % do orçamento totalizando R\$ 170 049,63 (dados extraídos de CYPE Ingenieros (2015)) incluindo neste valor além do fornecimento dos materiais, a mão de obra, recuperado pela própria função de provocar uma diminuição no consumo energético. Para comprovar se é válido ou não o investimento, foi feito um cálculo simples tomando a diferença dos valores da carga térmica do prédio “Sem proteção solar” e “Com proteção solar sem modificação” presentes na

Tabela 5.4 e foi achado o valor médio e multiplicado pelas horas de uso do prédio no dia que seriam 10 horas, desde as 8 da manhã até 5 da tarde como é mostrado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8-Valor médio da energia por dia.

Prédio atual (verão)				
Horas do dia	Sem sombreamento (W)	Com sombreamento ¹ (W)	Diferença (kW)	Med. Horas do dia (kWh/dia)
8	244.471	162.398	82	793
9	257.950	175.348	83	
10	264.052	189.653	74	
11	262.453	204.462	58	
12	252.879	215.621	37	
13	278.059	236.342	42	
14	316.282	250.133	66	
15	358.816	264.007	95	
16	397.522	276.779	121	
17	421.926	286.916	135	
Med.	305441	226165,9	79,2751	

Como este cálculo foi feito em base a os dados da reforma de uma quarta parte do prédio os 793 kWh/dia foram divididos por 4 e multiplicados pelos 168 dias úteis do ano obtendo o valor de 33 295 kWh/ano que representa a energia rejeitada pelos *Brise soleil*. Este valor multiplicado pela tarifa da energia com valor de 1,219 R\$/kWh utilizado por Batlle (2015), dá uma economia total de 40 587 R\$/ano o que representaria um retorno do investimento feito em no máximo 5 anos.

Esta avaliação econômica foi feita de maneira simples pelo fato de ser uma proposta de projeto no qual se tiveram em conta a projeção dos elementos de proteção solar, mas não a fixação dos elementos e o material destes etc. Para dados mais específicos seria necessário chegar ao nível de projeto técnico executivo.

Conclusões do capítulo

Neste capítulo foi elaborada a carta solar para Itajubá que possibilitou conhecer o comportamento do sol no ano todo com respeito ao prédio. Isto serviu para a projeção correta da proteção solar no sentido de evitar a incidência direta do sol em todo o ano. Estas transformações propostas foram comprovadas e tiveram um resultado positivo com diferenças notáveis na diminuição da carga térmica dentro dos espaços. O aumento da área de janelas no exterior e no interior dos espaços criou ventilação cruzada onde não existia e acrescentou este efeito onde já era comum, acarretando um incremento de mais de 3 vezes o valor atual. As modificações foram avaliadas com a norma RTQ-C para envoltória e resultou em uma evolução do Nível C para o Nível A de eficiência energética, mostrando um incremento após a colocação

de *Brise soleil* que, na avaliação econômica, tiveram um retorno do investimento de 5 anos. Na reestruturação interna dos blocos modificados foi definido como estratégia aproveitar uma reforma geral do prédio para inserir este tipo de transformação.

6 CONCLUSÕES, APORTES E TRABALHOS FUTUROS.

No presente trabalho se realizou uma avaliação energética de um prédio, visando a identificação das possíveis causas de sobre consumo de energia com a finalidade de, mediante soluções passivas de eficiência energética, obter uma diminuição do consumo energético. Como conclusões de este, tem-se que:

- O estudo energético do prédio demonstrou que o consumo de energia elétrica é maior do que poderia ser devido a:
 - Orientação.
 - Deficiência de iluminação natural.
 - Deficiência de ventilação natural.
 - Uso das áreas e dos equipamentos, luminária, etc. fora do horário normal de trabalho.
 - Eletricidade consumida nas áreas comuns do prédio.
 - Energia utilizada nos serviços de manutenção.
 - Eletricidade consumida nas áreas de circulação.
- Foi construída a carta solar para Itajubá o que teve um impacto direto no projeto dos *Brise soleil* para a diminuição da carga térmica dentro dos espaços.
- A proposta sugerida para a proteção solar provocou uma diminuição considerável de 30% da carga térmica dentro do prédio.
- Com as modificações propostas, aumentou-se a vazão de ar consideravelmente dentro do prédio em todos os espaços sendo os mais beneficiados a salas dos professores e as salas de pesquisa em mais de 90 %.
- A aplicação do método de avaliação da eficiência energética RTQ-C para a envoltória demonstrou uma evolução do Nível C para Nível A caso fosse feita a reforma no prédio com as soluções passivas.
- Os resultados da valoração econômica foi favorável pelo fato de demonstrar que é possível a instalação dos *Brise soleil* em um prédio e ter um retorno econômico no máximo em 5 anos.
- Foi demonstrado que um projeto de modificação em um prédio visando só a diminuição do consumo energético não se justifica pelo custo implicado, mas um projeto que inclui soluções passivas de eficiência energética aplicado na hora da reforma é possível de ser aplicado.

- **Aportes**
- Com as modificações propostas o prédio evoluiu do Nível C para Nível A.
- A partir de uma boa gestão na operação do prédio é possível diminuir o consumo em um 29 %.
- Este projeto reúne duas análises de eficiência energética que geralmente são feitas de forma separada, usando ferramentas já existentes no país como é o caso de:
 - Programa de Etiquetagem para edifícios RTQ-C, que avalia a volumetria e a fachada do prédio.
 - ABNT-NBR: ISO 50001:2011, que avalia o consumo energético dos equipamentos dentro do prédio.
 - A bibliografia define como 30% a relação ideal parede / janela. Este trabalho demonstra que com o uso de proteção solar este valor pode aumentar até um 42% e ainda obter resultados positivos.
- **Recomendações para trabalhos futuros**

Seguindo a linha de pesquisa deste trabalho, poderia ser adotado para o mesmo prédio ou para outro que forme parte do *campus* da Unifei:

- Analisar o incremento ou diminuição da iluminação natural dentro dos espaços em um eventual aumento da área de janelas de vidro e com a colocação de *Brise soleil*.
- Analisar mediante simulação o quanto fosse de consumo no prédio se este além das soluções passivas aplicadas em ele apresentasse a orientação ideal franco norte.
- Aplicar o RTQ-C na sua totalidade ao prédio nas condições atuais e propor soluções mediante um projeto arquitetônico o mais completo possível e analisar o custo total do investimento para este, virar Nível A.

Referências Bibliográficas.

- ABNT (2003)**, NBR 15220-1: “Desempenho térmico de edificações Parte 1 : Definições, símbolos e unidades”, Disponível em: <http://sinop.unemat.br/>, Acesso em 25 janeiro 2014.
- ABNT (2003)**, NBR 15220-2: “Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações”, Disponível em: <http://sinop.unemat.br/>, Acesso em 25 janeiro 2014.
- ABNT (2003)**, NBR 15220-3: “Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”, Disponível em: <http://sinop.unemat.br/>, Acesso em 25 janeiro 2014.
- ACOSTA, L. T. (2009)**, “Metodología para el análisis del consumo teórico de Energía en Edificios Universitarios”, *Dissertação de Mestrado*, Universitat Politècnica de Catalunya.
- ALDAWOUD, A. (2008)**, “Thermal performance of courtyard buildings”. *Energy and Buildings*, v. 40, pp 906–910.
- ALDAWOUD, A., e CLARK, R. (2008)**, “Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings”, *Energy and Buildings*, v. 40, pp 209–214. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.017>
- ALMHAFDY, A., IBRAHIM, N., AHMAD, S. S., e YAHYA, J. (2013)**, “Analysis of the Courtyard Functions and its Design Variants in the Malaysian Hospitals”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 105, pp 171–182.
- AL-TAMIMI, N. A., e FADZIL, S. F. S. (2011)**, “The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics”, *Procedia Engineering*, v. 21, pp 273–282.
- DECC. (2012)**, “The Energy Efficiency Strategy: The Energy Efficiency Opportunity in the UK”, Disponível em: <https://www.gov.uk/>, Acesso em 10 fevereiro 2015.
- ANEEL. (2007)**, “Energia no Brasil e no Mundo”, *Atlas de Energia Elétrica Do Brasil, parte I*. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf, Acesso em 15 setembro 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGETING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE (2009)**, “Chapter 14: Climatic Design Information”, *2009 ASHRAE Handbook*, Atlanta.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGETING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE (2009)**, “Chapter 15: Fenestration”, *2009 ASHRAE Handbook*, Atlanta.

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGETING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE (2009)**, “Chapter 18: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations”, *2009 ASHRAE Handbook*, Atlanta.
- ASIF, M. Ã., MUNEEER, T., e KELLEY, R. (2007)**, “Life cycle assessment : A case study of a dwelling home in Scotland”, *Building and Enviroment*, v. 42, pp 1391–1394.
- BARELLI, L., e BIDINI, G. (2004)**, “Development of an energetic diagnosis method for the buildings: Example of the Perugia University”, *Energy and Buildings*, v. 36, pp 81–87.
- BATLLE, E. A. O. (2015)**, “Modelo de Gestão Energética para a Diminuição do Consumo Energético e Impactos Ambientais de Instituições de Educação Superior “IES”: Estudo de Caso Universidade Federal de Itajubá”, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Itajubá.
- BRITISH STANDAR INSTITUTION - BSI. (1991)**, “Code of practice for Ventilation principles and designing for natural ventilation”, *BS 5925:1991*, London.
- BELLIA, L., DE FALCO, F., e MINICHIELLO, F. (2013)**, “Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates”, *Applied Thermal Engineering*, v. 54, pp 190–201.
- BERKOVIC, S., YEZIORO, A., e BITAN, A. (2012)**, “Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate”, *Solar Energy*, v. 86, pp 1173–1186.
- MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA - MME. (2001)**, “Lei n.º 10.295: 2001”, *Lei N.º 10.295, de 17 de Outubro de 2001*, Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>, Acesso em 15 janeiro 2014.
- BUYLE, M., BRAET, J., e AUDENAERT, A. (2013)**, “Life cycle assessment in the construction sector: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.26, pp 379–388.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE - CEEMA. (2006)**, “*Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios*”, Editorial Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- CERLING, J. R. E. T. E., e DEARING, M. D. (2005)**, “*A History of admospheric CO2 and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*”, publisher Springer Science+Business Media, Inc., New York.
- CHO, J., YOO, C., e KIM, Y. (2014)**, “Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings : Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis”, *Energy e Buildings*, v. 82, pp 771–785.
- ALLIANCE COMMISSION ON NATIONAL ENERGY EFFICIENCY POLICY (2013)**, “The History of Energy Efficiency”, Dinponível em: https://www.ase.org/sites/ase.org/files/resources/Media%20browser/ee_commission_history_report_2-1-13.pdf, Acesso em 15 setembro 2014.
- WEC - WORLD ENERGY COUNCIL (2013)**, “World Energy Perspective. Energy Efficiency Policies: What works and what does not”, Disponível em:

www.worldenergy.org

CRAWFORD, R. H. (2011), “Life Cycle Assessment in the Built Environment”, *Published Spon Press*, London.

CYPE INGENIEROS, S. A. (2015), “Gerador de preços para construção civil”, Disponível em:
http://www.brasil.geradordepreços.info/obra_nova/fachadas/FD_Proteções_e_gradeamentos_ester/Elementos_vazados/Brise_de_laminas.html, Acesso em 3 janeiro 2016.

DIXIT, M. K., FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L., LAVY, S., e CULP, C. H. (2012), “Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, pp 3730–3743.

ITECONS - INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM CIÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO (2013), “DL 118/2013 de agosto, Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH). Síntese da regulamentação aplicável (Decreto-Lei, Portaria e Despachos)” Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt/>, Acesso em 10 de agosto 2015.

ELETRÓBRÁS; PROCEL. (2013), “Manual para Aplicação do RTQ-C Comercial, de Serviço e público”, Disponível em:
http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual-rtqc_V4.pdf, Acesso em 12 janeiro 2014.

BEN. (2005), “Balanço energético nacional 2005”, Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>, Acesso em 12 janeiro 2015.

BEN. (2014), “Balanço Energético Nacional 2014”, Disponível em : <https://ben.epe.gov.br/>, Acesso em 12 janeiro 2015.

FAGGIANELLI, G. A., BRUN, A., WURTZ, E., e MUSELLI, M. (2014), “Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones”, *Energy and Buildings*, v. 77, pp 206–218.

HEEREN, N., JAKOB, M., MARTIUS, G., GROSS, N., e WALLBAUM, H. (2013), “A component based bottom-up building stock model for comprehensive environmental impact assessment and target control”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 20, pp 45–56.

HEPBASLI, A. (2012), “Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, pp 73–104.

HOXHA, E., HABERT, G., CHEVALIER, J., BAZZANA, M., e LE ROY, R. (2014), “Method to analyse the contribution of material’s sensitivity in buildings’ environmental impact”, *Journal of Cleaner Production*, v. 66, pp 54–64.

HUANG, Y., NIU, J., e CHUNG, T. (2014), “Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates”, *Applied Energy*, v. 134, pp 215–228.

IBN-MOHAMMED, T., GREENOUGH, R., TAYLOR, S., OZAWA-MEIDA, L., e

ACQUAYE, A. (2013), “Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends”, *Energy and Buildings*, v. 66, pp 232–245.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA - MME. (2010), “RTQ-C Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos”, Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>, Acesso em: 15 janeiro 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION - ISO (2011), “Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso”, *ABNT NBR ISO 50001*, Rio de Janeiro.

HSE - HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (2008), “Area classification for secondary releases from low pressure natural gas systems”, Disponível em:
<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr630.pdf>, Acesso em: 10 fevereiro 2014.

JAMALUDIN, A. A., HUSSEIN, H., MOHD ARIFFIN, A. R., e KEUMALA, N. (2014), “A study on different natural ventilation approaches at a residential college building with the internal courtyard arrangement”, *Energy and Buildings*, v. 72, pp 340–352.

KORONEOS, C., e TSAROUHIS, M. (2012), “Exergy analysis and life cycle assessment of solar heating and cooling systems in the building environment”, *Journal of Cleaner Production*, v. 32, pp 52–60.

L. PÉREZ. (2008), “A review on buildings energy consumption information”, *Energy and Buildings*, v. 40, pp 394–398. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>

LEE, W. L., e BURNETT, J. (2008), “Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED”, *Building and Environment*, v. 43, pp 1882–1891.

MANZAN, M. (2014), “Genetic optimization of external fixed shading devices”, *Energy and Buildings*, v. 72, pp 431–440.

MARTIN, E. W., e RICHMOND, J. B. (1980), “An historical perspective”, *The Journal of School Health*, v. 50, pp 244–245.

MME. (2003). “Balanço Energético Nacional 2003”, Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>, Acesso em 12 janeiro 2015.

MOSTEIRO-ROMERO, M., KROGMANN, U., WALLBAUM, H., OSTERMEYER, Y., SENICK, J. S., e ANDREWS, C. J. (2014), “Relative importance of electricity sources and construction practices in residential buildings: A Swiss-US comparison of energy related life-cycle impacts”, *Energy and Buildings*, v. 68, pp 620–631.

NG, P. K., e MITHRARATNE, N. (2014), “Lifetime performance of semi-transparent building-integrated photovoltaic (BIPV) glazing systems in the tropics”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, pp 736–745.

OLGYAY, V. (1963), “Design with climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism”, Princeton University Press, New Jersey.

- OROPEZA-PEREZ, I., e OSTERGAARD, P. A. (2014)**, “Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions - A case study of Mexico”, *Applied Energy*, v. 130, pp 20–32.
- OYARZO, J., e PEUPORTIER, B. (2014)**, “Life cycle assessment model applied to housing in Chile”, *Journal of Cleaner Production*, v. 69, pp 109–116.
- PALMERO-MARRERO, A. I., e OLIVEIRA, A. C. (2010)**, “Effect of louver shading devices on building energy requirements”, *Applied Energy*, v. 87, pp 2040–2049.
- PERIS, M. E. (2007)**, “Life cycle , sustainability and the transcendent quality of building materials”, *Building and Environment*, v. 42, pp 1329–1334.
- PINHEIRO, M. D., e HEITOR, T. (2014)**, “From indicators to strategies : Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings”, *Energy Building*, v. 85, pp 212–224.
- REISS, J. (2014)**, “Energy retrofitting of school buildings to achieve plus energy and 3-litre building standards”, *Energy Procedia*, v. 48, pp 1503–1511.
- RISTIMÄKI, M., SÄYNÄJOKI, A., HEINONEN, J., e JUNNILA, S. (2013)**, “Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design”, *Energy*, v. 63, pp 168–179.
- RODRÍGUEZ-SORIA, B., DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ, J., PÉREZ-BELLA, J. M., e DEL COZ-DÍAZ, J. J. (2014)**, “Review of international regulations governing the thermal insulation requirements of residential buildings and the harmonization of envelope energy loss”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 34, pp 78–90.
- ROH, S., TAE, S., e SHIN, S. (2014)**, “Development of building materials embodied greenhouse gases assessment criteria and system (BEGAS) in the newly revised Korea Green Building Certification System (G-SEED) ”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 35, pp 410–421.
- RUSSELL-SMITH, S. V., LEPECH, M. D., FRUCHTER, R., e MEYER, Y. B. (2014)**, “Sustainable target value design: integrating life cycle assessment and target value design to improve building energy and environmental performance”, *Journal of Cleaner Production*, 1–9.
- SAFARZADEH, H., e BAHADORI, M. N. (2005)**, “Passive cooling effects of courtyards”, *Building and Environment*, v. 40, pp 89–104.
- SCHEIHING, P. (2014)**, “Global Superior Energy Performance”, Disponível em: http://www.seai.ie/News_Events/Previous_SEAI_events/Creating_the_Right_Environment_for_ISO_50001/Paul_Schieing.pdf, Acesso em: 25 junho 2015.
- SHARMA, A., SAXENA, A., SETHI, M., e SHREE, V. (2011)**, “Life cycle assessment of buildings : A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, pp 871–875.
- SHARPLES, S., e BENSALÉM, R. (2001)**, “Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: A win tunnel study”, *Solar Energy*, v. 70, pp 237–244.

- SHI, Q., LAI, X., XIE, X., e ZUO, J. (2014)**, “Assessment of green building policies – A fuzzy impact matrix approach”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 36, pp 203–211.
- THEWES, A., MAAS, S., SCHOLZEN, F., WALDMANN, D., e ZÜRBEES, A. (2014)**, “Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg”, *Energy and Buildings*, v.68, pp 460–470.
- UFRGS (2014)**, “Posição Aproximada do sol”, Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/sol/calcsol.htm>, Acesso em: 12 junho 2014.
- UNITED NATIONS. (2007)**. “Realizing the Potential of Energy Efficiency. Targets, Policies, and Measures for G8 Countries”, Disponível em: http://www.se4all.org/sites/default/files/l/2013/09/realizing_potential_energy_efficiency.pdf, Acesso em: 24 julho 2015.
- VON GRABE, J., SVOBODA, P., e BÄUMLER, A. (2014)**, “Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation”, *Energy and Buildings*, v. 72, pp 203–211.
- YANG, A. S., WEN, C. Y., JUAN, Y. H., SU, Y. M., e WU, J. H. (2014)**, “Using the central ventilation shaft design within public buildings for natural aeration enhancement”, *Applied Thermal Engineering*, v. 70, pp 219–230.
- YAŞA, E., e OK, V. (2014)**, “Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions”, *Energy and Buildings*, v. 73, pp 192–199.
- YUN, G., YOON, K. C., e KIM, K. S. (2014)**, “The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings”, *Energy and Buildings*, v. 84, pp 70–85.
- ZHOU, C., WANG, Z., CHEN, Q., JIANG, Y., e PEI, J. (2014)**, “Design optimization and field demonstration of natural ventilation for high-rise residential buildings”, *Energy and Buildings*, v. 82, pp 457–465.

ANEXOS

Anexo 1-Cálculo da transmitância térmica da parede e da cobertura (teto) segundo NBR 15220.

Transmitância térmica das paredes externas

Na Figura 0.1 se mostra a composição das paredes externas do prédio onde, do lado exterior (direita) tem um recobrimento cerâmico de 1 cm, uma capa de argamassa de 1,5 cm e depois 2 cm de reboco até chegar ao tijolo de 19 cm de largura. Do lado interno (esquerda), tem só uma capa de reboco de 2 cm. Em alguns casos a parede chega a ter 35 cm, mas foi tomado como valor padrão 25,5 cm de largura em geral.

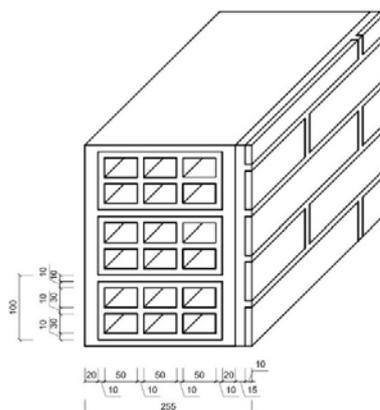


Figura 0.1-Composição da parede (medidas em mm).

Método de cálculo.

Se a parede tem diferentes componentes como é o caso tratado neste trabalho, é calculada a resistência térmica de cada um destes por separado.

O primeiro passo é calcular a resistência térmica do tijolo. Para interpretar melhor o cálculo é feito um diagrama simples apresentado na Figura 0.2 onde R_1 (vermelho) é o volume do material calculado que neste caso é cerâmica e R_2 (em vermelho) que são os furos do tijolo mais a cerâmica.

$$R_1 = \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}} \quad (0.1)$$

$$R_2 = \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}} + R_{ar} + \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}} + R_{ar} + \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}} + R_{ar} + \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}} \quad (0.2)$$

Onde:

R_1 : resistência térmica do material analisado (ABNT, 2003) que neste caso é cerâmica, $[(m^2 \cdot K) / W]$.

R_2 : resistência térmica da cerâmica mais o ar que é do que está feito o tijolo $[(m^2 \cdot K) / W]$.

R_{ar} : É um valor dependente da largura da câmara de ar e a direção do fluxo de calor, localizado na tabela B.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

e : espessura da camada (m^2)

λ : condutividade térmica do material $[W / (m \cdot K)]$; localizado na tabela B.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Depois disto, com a equação 1.3 é definido o valor da resistência térmica do tijolo (R_{tijolo}):

$$R_{tijolo} = \frac{3 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2}{\frac{3 \cdot A_1}{R_1} + \frac{2 \cdot A_2}{R_2}} \quad (0.3)$$

Onde:

A_1 e A_2 estão indicadas na Figura 0.2 e representam a área onde vai ser calculada a resistência térmica (m^2).

3 e 2: são a quantidade de vezes que esta presente o material como componente do tijolo.

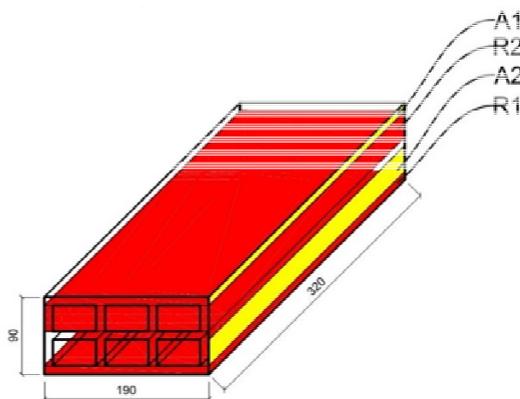


Figura 0.2-Representação gráfica de A_1 , A_2 , R_1 , e R_2

Logo é calculado o total da resistência térmica com a equação 1.4 e o inverso desse valor, segundo a equação 1.5 é a transmitância térmica (U).

$$R_T = R_{si} + R_{tijolo} + R_{se} \quad (0.4)$$

Onde:

R_T : resistência total do tijolo $[(m^2 \cdot K) / W]$.

R_{si} e R_{se} : são as resistências superficiais externa e interna, obtidas da tabela A.1 da norma NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (0.5)$$

U : transmitância térmica ($W/m^2 K$).

Continuando o cálculo são utilizadas as mesmas equações 1, 2, 3 e 4 só que tendo em consideração todos os componentes da parede como é representado na Figura 0.3 e Figura 0.4:

$$R_a = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}}$$

$$R_b = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{tijolo} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{ceramica}}{\lambda_{ceramica}}$$

$$R_{parede} = \frac{3 \cdot A_a + 2 \cdot A_b}{\frac{3 \cdot A_a}{R_a} + \frac{2 \cdot A_b}{R_b}}$$

$$R_T = R_{si} + R_{parede} + R_{se}$$

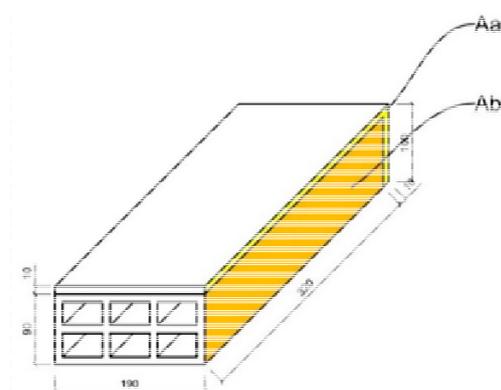


Figura 0.3-Representação gráfica de A_a e A_b .

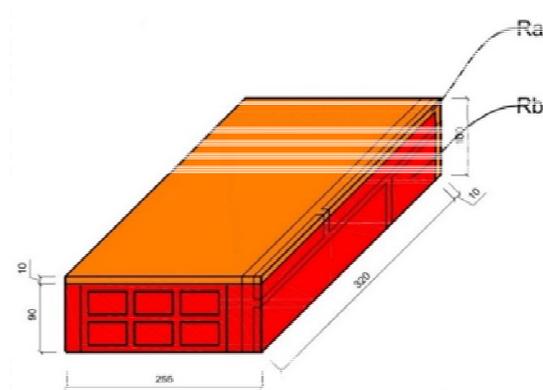


Figura 0.4-Representação gráfica de R_a e R_b .

O cálculo da transmitância térmica da parede deu como resultado $1,8 W / m^2 \cdot K$. Este valor é comparado com as diferentes classificações especificadas pela RTQ-C coincidindo com a classificação Nível B, onde a transmitância térmica das paredes não pode ultrapassar os $2 W / m^2 \cdot K$ segundo a faixa estabelecida pela RTQ-C (INMETRO, 2010) para a zona Bioclimática 2 definida pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003) onde está localizado o prédio.

Cores e absorvância de superfícies para paredes.

Como as paredes do prédio estão revestidas de peças cerâmicas esta não alcança a classificação de Nível A devido ao valor exigido pela RTQ-C (INMETRO, 2010) de $\alpha \leq 0,50$ pelo que pertence ao nível B que não tem limite para absorvância térmica de paredes.

Transmitância térmica do teto.

Para o cálculo da transmitância da cobertura, se escolheu um dos blocos do prédio posto que todos têm a medida padrão de 11,8 m x 11,8 m sendo diferentes só os corredores que não são de grande interesse devido à atividade realizada neles.

O primeiro passo na metodologia é a avaliação da ventilação na câmara de ar que se encontra entre a laje e o teto de cinco, mas ele foi omitido devido à inexistência de ventilação neste estudo de caso.

Depois disso é calculada a resistência térmica considerando os diferentes componentes da cobertura: telhas de zinco de 0,001 cm, uma câmara de ar de 31,5 cm e uma laje de 7cm de largura.

$$R_t = \frac{e_{\text{zinco}}}{\lambda_{\text{zinco}}} + R_{ar} \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}}$$

Onde:

R_t : resistência térmica do teto $[(m^2 \cdot K) / W]$.

R_{ar} : valor dependente da largura da câmara de ar e a direção do fluxo de calor $[(m^2 \cdot K) / W]$; localizado na tabela B.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

e : espessura da camada do material analisado $[m]$.

λ : condutividade térmica do material $[W / (m \cdot K)]$; localizado na tabela B.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Depois de calculada as resistências térmicas de todos os componentes estas são somadas para achar o valor total e o inverso deste é a transmitância térmica como é feito na equação 3 e 4 antes utilizada.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Onde:

R_T : resistência total do teto $[(m^2 \cdot K) / W]$.

R_{si} e R_{se} : são as resistências superficiais externa e interna respectivamente $\left[(m^2 \cdot K) / W \right]$; obtidas da tabela A.1 da norma NBR 15220 (ABNT, 2003).

O valor obtido é de $U = 2,174 \left[W / (m^2 \cdot K) \right]$.

Anexo 2-Metodologia de cálculo para a ventilação natural segundo a norma internacional BS 5925:1991.

Para testar a realidade da solução foi calculado e comparado o prédio em sua condição atual com o mesmo, mas com as trocas feitas no interior e exterior nos diferentes espaços referidos na leitura anterior.

O cálculo foi feito seguindo a metodologia da norma inglesa BS 5925 (BDB, 1991).

A primeira equação 0.6 é para achar a velocidade do vento que depende das características gerais do terreno. Neste caso de estudo o tipo de terreno é urbano, mas o prédio está isolado sem nenhuma construção do lado dele.

$$\frac{u}{u_m} = K \cdot z^a \rightarrow u = K \cdot z^a \cdot u_m \quad (0.6)$$

Onde:

u = velocidade do vento (m/s)

u_m = velocidade média do vento (m/s)

K = constante que depende das características do terreno, tabela 8 da BS 5925 (BDB, 1991)

Z = altura (m)

a = constante que depende das características do terreno, tabela 8 da BS 5925 (BDB, 1991)

Q_w = é calculada com a equação 0.7 representa o fluxo do ar dentro dos espaços que tem ventilação cruzada.

$$Q_w = C_d \cdot A_w \cdot u_r \cdot (\Delta C_p)^{\frac{1}{2}} \quad (0.7)$$

Onde:

Q_w = Taxa do fluxo de ar (m^3/s).

C_d = Coeficiente de descarga para uma abertura.

A_w = Área efetiva equivalente das janelas (m^2).

ΔC_p = Coeficiente de pressão das paredes

A_w = se calcula mediante a equação 0.8. É o fator que introduz as áreas das janelas no cálculo de Q_w dentro do espaço.

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2} \quad (0.8)$$

Onde:

A_1, A_2, A_3, A_4 = Área das janelas segundo a posição (m^2).

Finalmente é calculado o fluxo de ar dentro dos espaços que tem janelas só em uma parede. Para isto é usada a equação 0.9

$$Q = 0,025 \cdot A \cdot u_r \quad (0.9)$$

O resultado obtido na ventilação natural dos espaços com as modificações propostas foi significativamente maior. Os mais beneficiados nas transformações foram as salas dos professores e as salas dos pesquisadores. Para o cálculo foram utilizadas duas direções diferentes de incidência do ar: de maneira perpendicular à fachada (0°) e com um ângulo de inclinação de 45° e 75° com respeito à fachada.

Anexo 3-Metodologia de ASHRAE para o cálculo da carga térmica.

O método *Radiant Time Series* (RTS conforme siglas em inglês) foi utilizado para o cálculo da carga térmica. Ela foi desenvolvida pela *Sociedade Americana de Engenheiros em Refrigeração, Calefação e Ar condicionado* (ASHRAE conforme siglas em inglês).

Condições e princípios para o cálculo.

Para este cálculo foram definidas uma série de “condições e princípios” para a simplificação do cálculo, recomendadas pela própria bibliografia:

Princípios fundamentais:

O cálculo da carga de refrigeração deve considerar dois efeitos de retraço térmico inerente à natureza da transferência de calor nos prédios:

- Retraço no ganho de calor condutivo através das superfícies opacas, que dividem o exterior do interior (paredes teto e piso).
- Conversão da carga de resfriamento do retraço de ganho de calor radiativo.

Condições:

- Os espaços são fechados sem circulação nenhuma de ar.
- A proteção solar impede a incidência direta dos raios do sol no dia todo (o projeto da proteção foi pensado para esse resultado, mas, é importante o esclarecimento neste espaço).
- Foi estabelecido como horário de trabalho (ou seja, de uso diário do prédio), 12 horas começando 7am e terminando as 7pm.
- Não foram calculadas as paredes interiores o chão e o entrepiso pela pouca ou nula contribuição à diferença do valor da carga térmica devido à característica do estudo no qual é investigada a incidência direta do sol nos espaços do prédio.
- Não foram calculadas as paredes onde no horário da manhã o sol teve uma incidência direta.

O método *RTS* foi desenvolvido para oferecer uma forma rigorosa, de quantificar a contribuição de cada componente no total da carga térmica de um espaço. Também é possível usar ele para comparar resultados obtidos na modificação de construções. Este método é adequado para o

cálculo das cargas pico para o design, mas, não deve ser usado para uma simulação anual de consumo energético.

O design da carga de refrigeração é baseado na suposição de condições estáveis, ou seja, o valor do ganho de calor do dia calculado é o mesmo que tem no dia anterior ou na semana anterior etc.

O cálculo da carga térmica tem que considerar dois retraços térmicos inerentes ao processo de transferência de calor:

- Retraço do ganho de calor pela condutividade das superfícies opacas exteriores (muros, teto ou chão): as paredes e tetos exteriores conduzem o calor pela diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior mais a energia solar absorvida pelas superfícies e transferidas por condução ao interior dos espaços. Este processo varia segundo as características térmicas dos materiais dos quais estão fabricadas as superfícies externas do prédio (teto, parede).
- Retraço da conversão do ganho de calor radioativo em carga de refrigeração: a maioria das fontes de calor transferem energia à habitação sob a combinação da convecção e radiação. A parte convectiva do calor imediatamente é convertida em carga de refrigeração e a parte radiativa tem que ser absorvida pelas superfícies interiores e são convertidas em carga de refrigeração só quando, mais tarde, é transferida por convecção pelas superfícies à habitação.

Radiant time factors: representa a porcentagem do ganho de calor radiante que vai virar na hora seguinte carga térmica.

Conduction time factors: representa a porcentagem do ganho de calor no lado exterior das paredes ou teto que depois vira ganho de calor no interior. Por definição cada série destes fatores repartidos durante as 24 horas do dia tem que somar 100%.

Procedimento de cálculo.

O procedimento geral para o cálculo da carga de resfriamento para cada componente (iluminação, equipamento, pessoas, paredes, teto, janelas, etc.) é da seguinte maneira:

- Cálculo do perfil no ganho de calor dos componentes para as 24 horas do dia. Para este, tem que, primeiro, aplicar a *Conduction Time Series* (CTS conforme siglas em inglês).

- Dividir o ganho de calor nas partes convectiva e radiante (tabela 14, capítulo 18 da ASHRAE estão as frações para cada elemento).
- Aplicar o *RTC* apropriado à parte radiante do ganho de calor total, para o tempo de retraço da conversão deste em carga de refrigeração.
- Soma da parte convectiva do ganho de calor e a parte radiante retrasada do ganho de calor para determinar a carga de refrigeração para cada hora e elemento.

Equações

Carga interna.

A primeira coisa a calcular é a carga interna das diferentes fontes de calor segundo a equação 0.10 (ASHRAE, 2009b) (luz, pessoas, equipamento):

Luminárias:

$$q_{el} = W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad (0.10)$$

Onde:

q_{el} = ganho de calor (W)

W = potência total da luz (W)

F_{ul} = fator de uso da iluminação

F_{sa} = fator de consumo especial da iluminação.

Para as pessoas o valor já está definido e tabulado segundo a emissão de energia que realiza o corpo humano segundo a atividade que é realizada no momento pela pessoa.

Para o equipamento a taxa é tabulada do mesmo jeito das pessoas, mas, só para o equipamento comum de oficina e alguns outros equipamentos não tão comuns mais de importância para os cálculos.

Este valor então é dividido entre a percentagem da carga convectiva e radiante. Para as pessoas e equipamento, este valor é tabelado na própria bibliografia.

A porção convectiva é calculada segundo a equação 0.11 (ASHRAE, 2009b):

$$Q_{c,n} = q_{el} \cdot cf \quad (0.11)$$

Onde:

$Q_{c,n}$ = porção convectiva (W)

cf = fração convectiva

A porção radiante da carga de refrigeração provocada pela iluminação é calculada com a equação 0.12(ASHRAE, 2009b):

$$Q_{r,n} = r_0 \cdot (rf) \cdot q_n + r_1 \cdot (rf) \cdot q_{n-1} + r_2 \cdot (rf) \cdot q_{n-2} + r_3 \cdot (rf) \cdot q_{n-3} + r_4 \cdot (rf) \cdot q_{n-4} + \dots + r_{23} \cdot (rf) \cdot q_{n-23} \quad (0.12)$$

Onde:

$Q_{r,n}$ = porção radiante da carga de refrigeração (W).

r_n = fração radiante segundo a hora na série radiante.

rf = fração radiante segundo a hora na série radiante.

q_{n-1} = ganho de calor segundo a hora anterior (W).

O total de carga de refrigeração da iluminação é calculada segundo a equação 0.13 (ASHRAE, 2009b):

$$Q_{light} = Q_{c,n} + Q_{r,n} \quad (0.13)$$

Para as outras cargas térmicas internas o procedimento é o mesmo.

Carga externa

Para calcular a carga térmica provocada pelas superfícies externas (parede, teto, janela) tem que primeiramente identificar uma serie de dados que são apresentados seguidamente:

Para conhecer o calor que é transmitido às paredes do lado externo pela incidência direta do sol é preciso conhecer a orientação do prédio em relação ao posicionamento do sol. A equação 0.14 (ASHRAE, 2009a) é apresentada como o primeiro calculo que é necessário realizar.

Posicionamento do sol:

Altitude solar:

$$\text{sen} \beta = \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \text{sen} L \cdot \text{sen} \delta \quad (0.14)$$

Onde:

β = altitude solar

L = latitude

δ = declinação solar

H = ângulo horário

$$\delta = 23,45 \left(360^\circ \cdot \frac{n + 284}{365} \right) \quad (0.15)$$

Onde:

n = número de dias desde o primeiro de janeiro

$$H = 15(AST - 12) \quad (0.16)$$

Onde:

AST = tempo solar aparente

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{(LON - LSM)}{15} \quad (0.17)$$

Onde:

ET = equação do tempo (em minutos)

LON = longitude

LSM = meridiano padrão local

LST = hora local real

$$ET = 2,2918 \cdot (0,0075 + 0,1868 \cdot \cos(\Gamma) - 3,2077 \cdot \text{sen}(\Gamma) - 1,4615 \cdot \cos(2\Gamma) - 4,089 \cdot \text{sen}(2\Gamma)) \quad (0.18)$$

Onde:

Γ = tempo médio

$$\Gamma = 360^\circ \cdot \frac{n - 1}{365} \quad (0.19)$$

$$LSM = 15 \cdot TZ \quad (0.20)$$

TZ = fuso horário

LST : Isto é a hora real do lugar calculado, mas, considerando que, se o horário de verão está em vigência tem que eliminá-lo ou seja:

$$LST = DST - 1 \quad (0.21)$$

Onde:

DST = horário de verão

Azimute solar (ϕ):

$$\cos \phi = \frac{(\text{sen} \beta \cdot \text{sen} L - \text{sen} \delta)}{(\cos \beta \cdot \cos L)} \quad (0.22)$$

Azimute solar da superfície (γ):

$$\gamma = \phi - \psi \quad (0.23)$$

ψ =azimute da superfície (neste caso a superfície da parede calculada)

Ângulo de incidência (Θ):

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \text{sen} \Sigma + \text{sen} \beta \cdot \cos \beta \quad (0.24)$$

Onde:

Σ =ângulo de inclinação do elemento (na Figura 0.5 é possível observar os diferentes ângulos precisados para o cálculo)

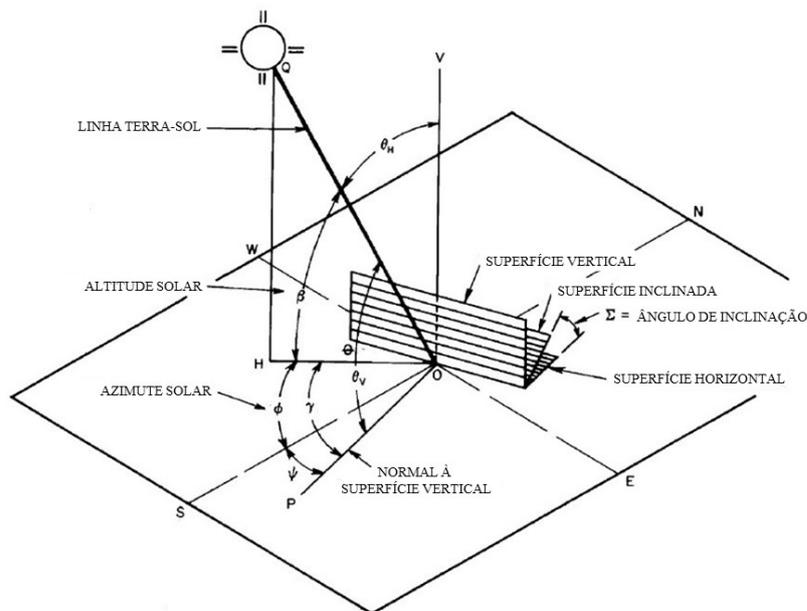


Figura 0.5-Representação gráfica dos diferentes ângulos precisados

Radiação solar de céu limpo:

Radiação solar num dia com o céu limpo é definido pelo raio de sol direto e difuso. O raio direto é a parte da radiação solar que vem direto do disco solar e a parte difusa é a emanada pelo resto do céu:

$$E_b = E_0 \exp[-\tau_b m^{ab}] \quad (0.25)$$

$$E_d = E_0 \exp[-\tau_d m^{ad}] \quad (0.26)$$

Onde:

E_b = irradiância de um raio normal (medido perpendicular aos raios do sol) (W/m²)

E_d = irradiância difusa horizontal (medida em uma superfície horizontal) (W/m²)

E_0 = irradiância extraterrestre normal

τ_b e τ_d = profundidade ótica direta e difusa

m = massa de ar

ab e ad = expoentes da massa de ar direta a difusa

$$m = \frac{1}{\left(\text{sen } \beta + 0,50572 \cdot (6,07995 + \beta)^{-1,6364}\right)} \quad (0.27)$$

$$ab = 1,219 - 0,043 \cdot \tau_b - 0,151 \cdot \tau_d - 0,204 \cdot \tau_b \cdot \tau_d \quad (0.28)$$

$$ad = 0,202 - 0,852 \cdot \tau_b - 0,007 \cdot \tau_d - 0,357 \cdot \tau_b \cdot \tau_d \quad (0.29)$$

E_t Irradiância total de céu limpo (W/m²):

$$E_t = E_{t,b} + E_{t,d} + E_{t,r} \quad (0.30)$$

Onde:

$E_{t,b}$ = componente do raio direto (W/m²)

$E_{t,d}$ = componente difuso do raio (W/m²)

$E_{t,r}$ = componente refletido pelo chão (W/m²)

$$E_{t,b} = E_b \cdot \cos \theta \quad (0.31)$$

$$E_{t,d} = E_d \cdot Y \quad (0.32)$$

Onde:

Y = relação céu irradiância difusa em uma superfície vertical.

$$Y = 0,55 + 0,437 \cdot \cos \theta + 0,313 \cdot \cos^2 \theta \quad (0.33)$$

Para uma superfície não vertical com inclinação Σ :

$$E_{t,d} = E_d (Y \cdot \text{sen } \Sigma + \cos \Sigma) \quad \text{se } \Sigma \leq 90^\circ \quad (0.34)$$

$$E_{t,d} = E_d \cdot Y \cdot \text{sen } \Sigma \quad \text{se } \Sigma \geq 90^\circ \quad (0.35)$$

$$E_{t,r} = (E_b \cdot \text{sen}\beta + E_d) \rho_g \frac{1 - \cos\Sigma}{2} \quad (0.36)$$

Onde:

ρ_g =refletância do chão (tabela 5, cap.14)

Temperatura sol-ar:

$$T_e = t_0 + \frac{\alpha \cdot E_t}{h_0} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_0} \quad (0.37)$$

α =absortância da superfície por radiação solar

h_0 =coeficiente de transferência da radiação e convecção por onda larga para outras superfícies (W/m²)

t_0 =temperatura exterior (C°)

ε =emitância hemisférica da superfície

ΔR =diferença entre radiação de onda larga do céu e o entorno incidente em uma superfície e a radiação emitida por um corpo escuro na temperatura do ar exterior (W/m²).

As superfícies horizontais só reservem ondas longas de radiação pelo céu e o valor apropriado para ΔR neste caso poderia ser de 63 W/m²K, então se $\varepsilon =1$ e $h_0 =17$ W/m²K a correção de onda longa é em torno a 4K.

As superfícies verticais recebem ondas longas de radiação do chão, dos prédios próximos e do céu pelo que é muito difícil chegar num valor exato. Portanto segundo a bibliografia este valor é definido geralmente como $\Delta R =0$ Em resumo, para superfícies horizontais $\varepsilon \cdot \Delta R / R \cdot h_0 =4$ K e para superfícies verticais o valor é 0 K.

A Cor das superfícies: este parâmetro segundo a literatura é utilizado principalmente com dois valores onde $\alpha / h_0 =0.026$ para superfícies coloridas e 0,052 representa o valor máximo para este parâmetro.

Cálculo do ganho de calor por condução através da *Conduction time series (CTS)*.

Dentro do método *RTS* é usado o *CTS* para o cálculo da condução do ganho de calor causado pelo exterior através dos muros e teto.

A equação (ASHRAE, 2009b)de condução usada é:

$$q_{i,\theta-n} = U \cdot A \cdot (t_{e,\theta-n} - t_{rc}) \quad (0.38)$$

Onde:

$q_{i,\theta-n}$ = entrada de calor por condução pela superfície condutora n horas depois (W)

U = coeficiente de transferência de calor global para a superfície (W/m² K)

A = área da superfície, (m²)

$t_{e,\theta-n}$ = temperatura sol-ar n horas depois, (°C)

t_{rc} = temperatura do ar desejada dentro do espaço (°C)

O ganho de calor por condução pelas paredes ou teto é calculado através das contribuições de calor das horas anteriores (23 h) (ASHRAE, 2009b) a formula para este cálculo é:

$$q_{\theta} = c_0 \cdot q_{i,\theta} + c_1 \cdot q_{i,\theta-1} + c_2 \cdot q_{i,\theta-2} + c_3 \cdot q_{i,\theta-3} + \dots + c_{23} \cdot q_{i,\theta-23} \quad (0.39)$$

q_{θ} = ganância de calor por condução das superfícies em uma hora determinada (W).

$q_{i,\theta}$ = contribuição de calor pela hora atual (W).

$q_{i,\theta-1}$ = contribuição de calor n (W)

c_0, c_1, \dots = fator tempo de condução

Logo deste cálculo são achadas as porções convectiva e radiante (equação 0.40) do ganho de calor. A porção radiante da carga de refrigeração é calculada usando o ganho de calor por condução das atuais e ultimas 23 h (ASHRAE, 2009b), a fração radiante dita pela tabela 14 e a RTS da tabela 19 segundo o caso.

A formula para este cálculo é a seguinte:

$$q_{r,\theta} = r_0 \cdot q_{r,\theta} + r_1 \cdot q_{r,\theta-1} + r_2 \cdot q_{r,\theta-2} + r_3 \cdot q_{r,\theta-3} + \dots + r_{23} \cdot q_{r,\theta-23} \quad (0.40)$$

Onde:

$Q_{r,\theta}$ = carga de refrigeração radiante Q_r para a hora atual θ (W)

$q_{r,\theta}$ = ganho de calor radiante para a hora atual (W)

$q_{r,\theta-n}$ = ganho de calor radiante n nas últimas horas

r_0, r_1, r_2, \dots = fator RTS (tabela 19 ou 20 segundo o caso)

Cálculo do ganho de calor pela janela

A primeira coisa a ser calculada é o perfil de ganho de calor para as 24 horas e depois é dividido segundo as porções convectivas e radiantes. Logo disto é aplicado o *RTS* e somados o ganho convectivo e a carga radiante de refrigeração, para determinar a carga de refrigeração total. Depois é calculado o ganho de calor mediante as equações de $E_{t,b}$, $E_{t,d}$, $E_{t,r}$ anteriormente explicadas. Com estes valores são usadas as formulas a seguir:

$$q_b = A \cdot E_{t,b} \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC(\theta, \Omega) \quad (0.41)$$

Onde:

A =área da janela (m^2)

$SHGC(\theta)$ = coeficiente de ganho de calor solar em função do ângulo incidente θ (tem que ser interpolado entre os valores da tabela 10 capítulo 15 (ASHRAE, 2009).

$IAC(\theta, \Omega)$ = coeficiente de atenuação solar interior para o coeficiente de ganho solar direto. O valor dele quando não tem proteção nenhuma é =1. $IAC(\theta, \Omega)$ é função do tipo de proteção solar e segundo o tipo de proteção mas, também é função do ângulo de incidência solar θ e a geometria solar.

$$q_d = A \cdot (E_{t,d} + E_{t,r}) \cdot (SHGC)_D \cdot IAC_D \quad (0.42)$$

Onde:

$E_{t,b}$, $E_{t,d}$, $E_{t,r}$ =raio de sol direto, iluminação difusa e ganho refletido pelo chão, valores já calculados anteriormente.

$(SHGC)_D$ = coeficiente de ganho de calor difuso tabela 10 capítulo 15 (ASHRAE, 2009).

IAC_D =coeficiente de atenuação solar para o coeficiente de ganho de calor difuso. O valor deste é =1 se não tem proteção solar nenhuma. IAC_D é função do tipo de proteção solar e da geometria da proteção solar.

$$q_c = U \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (0.43)$$

Onde:

U =U total incluindo marco e orientação ($W/m^2 \cdot K$) (tabela 4 capítulo 15(ASHRAE, 2009))

T_{in} = temperatura interior (C°)

T_{out} = temperatura exterior (C°)

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad (0.44)$$

Q =ganho de calor total na janela (W/m^2).

A carga total de refrigeração para a janela é calculada através da soma das porções convectivas e radiativas.

No caso de calcular janelas com proteção solar, são usadas as mesmas fórmulas mas trocam os valores de $SHGC(\theta)$, $IAC(\theta, \Omega)$, $(SHGC)_D$, IAC_D que, são obtidos na mesma tabela.