

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

RODOLFO VANASSI BERNARDI

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE PRÉVIA NO ÂMBITO DO
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES**

JOINVILLE, SC

2015

RODOLFO VANASSI BERNARDI

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE PRÉVIA NO ÂMBITO DO
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Fabiano Ferreira Andrade

JOINVILLE, SC

2015

**TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO AO CURSO DE BACHARELADO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS, DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, COMO REQUISITO FINAL
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Banca Examinadora

Orientador:

Dr. Fabiano Ferreira de Andrade
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Me. Marcos Fergutz
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Dra. Ana Mirthes Hackenberg
Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville, SC, 10/12/2015

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que me educaram e são exemplos de vida. Aos meus avós que são a base da família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e família pelo apoio e motivação durante todos os anos da graduação, aos amigos pelos momentos de diversão e seriedade, a namorada pela paciência e compreensão e ao grupo PET pela experiência de vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta um breve estudo sobre a situação energética brasileira atual, trazendo a etiquetagem de edificações, regulamentada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), como uma das formas de eficiência energética. Para possibilitar uma análise prévia da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) foi desenvolvido uma ferramenta computacional para automatizar as rotinas de cálculo necessárias para obtenção da ENCE. Desenvolveu-se a entrada de dados no *software* *MICROSOFT EXCEL*®, enquanto os valores numéricos são tratados na plataforma *MATLAB*®. A validação deste *software* foi feita utilizando os dados do bloco E do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), onde se encontra o Departamento de Engenharia Elétrica. A comprovação da eficiência do *software* foi garantida através da comparação dos resultados das etiquetas de cada sistema (Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar) com o *software* WebPrescritivo, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e disponível na web.

Palavras Chave: Eficiência energética em edificações. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Ferramenta computacional.

ABSTRACT

This work presents a brief study of Brazil's current energy situation, bringing the labeling of buildings, regulated by the Brazilian Labeling Program (BLP), as a way of energy efficiency. To enable a preliminary analysis of National Energy Conservation Label (NECL) was developed a computational tool to automate the calculation routines necessary for obtaining the ENCE. The data entry was developed with software *MICROSOFT EXCEL®*, while numeric values was treated in *MATLAB®* platform. The validation of this software was made using data from the Centre Block E of Technological Sciences of the State University of Santa Catarina (UDESC), where is the Department of Electrical Engineering. Evidence of efficiency of the software was guaranteed by comparing the results of the label of each system (envelopment, lighting and air conditioning) with WebPrescritivo software, developed by the Energy Efficiency Laboratory Building (LabEEE) of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and available on the web.

Keywords: Energy efficiency in buildings. Brazilian Labeling Program. Computational tool.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Crescimento do Consumo Final em relação a 2013 (BEN, 2015)	17
Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira	17
Figura 3 - Geração de Energia Térmica	19
Figura 4 - Participação da EE na Matriz Elétrica Brasileira	19
Figura 5 - Economia de Energia em função das ações do Procel Eletrobrás (em bilhões de kWh)	25
Figura 6 - Custos Evitados pelo PROCEL Eletrobrás	25
Figura 7 - Representatividade da economia de energia elétrica em relação ao consumo total e ao consumo residencial do Brasil	25
Figura 8 - Selo Procel	26
Figura 9 – ENCE para equipamentos	27
Figura 10 - Linha temporal de lançamento das regulamentações do PBE Edifica	29
Figura 11 - ENCE geral para Edificações	31
Figura 12 - ENCE parcial para edificações	31
Figura 13 – Página inicial do <i>software</i>	35
Figura 14 – Sistema de Envoltória	36
Figura 15 – Sistema de Condicionamento de Ar	36
Figura 16 – Sistema de Iluminação	36
Figura 17 – Opções do usuário para o sistema de iluminação	37
Figura 18 - Fluxograma do Sistema de Iluminação	39
Figura 19 – Fluxograma do sistema de Condicionador de Ar	40
Figura 20 – Divisão Bioclimática Brasileira	41
Figura 21 – Fluxograma para o sistema de envoltória	41
Figura 22 – Resultado gerado pelo <i>software</i>	43
Figura 23 – Planta baixa do bloco E do CCT	44
Figura 24 – Ângulos de Sombreamentos AHS e AVS	47
Figura 25 – Referência para determinação da orientação solar do edifício	48
Figura 26 – Representação de uma parede de tijolos 9 furos	49
Figura 27 – Configurações das coberturas do edifício	50
Figura 28 - Etiqueta Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar via <i>software</i> desenvolvido neste TCC	52

Figura 29 – Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Condicionamento de Ar via WebPrescritivo	52
Figura 30 - Etiqueta Parcial do Sistema de Envoltória via <i>software</i> desenvolvido neste TCC	53
Figura 31 - Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Envoltória via WebPrescritivo	53
Figura 32 – Classificação do Nível de Eficiência da Envoltória Considerando-se os Pré-Requisitos Específicos do Sistema	55
Figura 33 - - Etiqueta Parcial do Sistema de Iluminação via <i>software</i> desenvolvido neste TCC	55
Figura 34 - Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Iluminação Envoltória via WebPrescritivo	56
Figura 35 – Resultado obtido no Webprescritivo para o exemplo 4.5 do Manual de Aplicação do RTQ-C	57
Figura 36 - Resultado obtido no <i>software</i> desenvolvido para o exemplo 4.5 do Manual de Aplicação do RTQ-C	57
Figura 37 - Etiqueta Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar para o Cenário B	61
Figura 38 - Método da Área do Edifício	72
Figura 39 - Método das Atividades do Edifício	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível dos Reservatórios Brasileiros	18
Tabela 2 – Condicionadores de Ar substituídos no Cenário B.....	62
Tabela 3 – Dados do Sistema de Iluminação	69
Tabela 4 – Relação dos condicionadores de ar por sala	71
Tabela 5 – Área das fachadas por orientação solar	70
Tabela 6 – Área das aberturas das fachadas por orientação solar.....	71
Tabela 7 – Dados para o AVS	71
Tabela 8 – Dados do vidro para o FS	71
Tabela 9 – Síntese dos dados da envoltória.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
EE	Eficiência Energética
Mtep	megatep (10 ⁶ toneladas equivalente de petróleo)
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SIN	Sistema Integrado Nacional
NOS	Operador Nacional do Sistema
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
CELESC	Centrais Elétricas do Estado de Santa Catarina
PEE	Programa de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ANP	Agência Nacional do Petróleo
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ELETROBRAS	Centrais Elétrica Brasileiras
RGR	Reserva Global de Reversão
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
OIA	Órgão de Inspeção Acreditado
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
K	Índice do Ambiente
RCR	Room Cavity Ratio
DPIL	Densidade de Potência de Iluminação
α_{par}	Absortância das paredes
α_{cob}	Absortância da cobertura
U _{par}	Transmitância térmica da cobertura
U _{cob}	Transmitância térmica das paredes
APT	Área de Permanência Transitória
AC	Área Condicionada

ANC	Área Não Condicionada
AU	Área Útil
EqNumV	Equivalente Numérico das Áreas Ventiladas
EqNumEnv	Equivalente Numérico da Envoltória
EqNumDPI	Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação
EqNumCa	Equivalente Numérico dos Condicionadores de Ar
ZB	Zona Bioclimática
PT	Pontuação Total
GUI	Guia de Interface do Usuário
PAFo	Percentual de Abertura da Fachada Oeste
PAFt	Percentual de Abertura da Fachada total
Aenv	Área da Envoltória
Atot	Área Total
Vtot	Volume Total
Ape	Área de projeção da Edificação
FF	Fator de Forma
FA	Fator de Altura
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
FS	Fator Solar
Apcob	Área de projeção da cobertura

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	16
1.1	MOTIVAÇÃO	16
1.2	HIPÓTESE	20
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivos Específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	INTRODUÇÃO	22
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.3	LEI DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.4	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL	24
2.5	PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE	26
2.5.1	PBE Edifica	28
2.5.2	Obtenção da ENCE para Edificações	30
2.6	TRABALHOS CORELACIONADOS	32
2.7	RESUMO DO CAPÍTULO	33
3	ALGORITMO DE CÁLCULO	34
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	34
3.3	AMBIENTE MICROSOFT EXCEL®	34
3.3.1	Sistema de Iluminação	37
3.3.2	Sistema de Condicionamento de Ar	37
3.3.3	Sistema de Envoltória	37
3.4	AMBIENTE MATLAB®	38
3.4.1	Sistema de Iluminação	38
3.4.2	Sistema de Condicionamento de Ar	39
3.4.3	Sistema de Envoltória	40
3.4.4	ENCE Geral	42

3.5	PRÉ-REQUISITOS.....	42
3.6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	43
3.7	RESUMO DO CAPÍTULO	43
4	LEVANTAMENTO DE DADOS	44
4.1	INTRODUÇÃO	44
4.2	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	45
4.3	SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	45
4.4	SISTEMA DE ENVOLTÓRIA.....	47
4.5	RESUMO DO CAPÍTULO	50
5	RESULTADOS	51
5.1	INTRODUÇÃO	51
5.2	<i>SOFTWARE</i> WEBPRESCRITIVO.....	51
5.3	SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	51
5.4	SISTEMA DE ENVOLTÓRIA.....	53
5.5	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	55
5.6	ENCE GERAL	57
5.7	RESUMO DO CAPÍTULO	58
6	ANÁLISE DE CENÁRIOS	60
6.1	INTRODUÇÃO	60
6.2	CENÁRIO A – SISTEMA DE ENVOLTÓRIA	60
6.3	CENÁRIO B – SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	61
6.4	RESUMO DO CAPÍTULO	62
7	TRABALHOS FUTUROS	63
7.1	INTRODUÇÃO	63
7.2	ESTRUTURA DO <i>SOFTWARE</i>	63
7.3	CÁLCULO DOS PRÉ-REQUISITOS	63
7.4	ENTRADA DE DADOS.....	64
7.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR AMBIENTE	64
7.6	RESUMO DO CAPÍTULO	64
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	66

APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	69
APÊNDICE B – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	71
APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ENVOLTÓRIA	70
ANEXO A – EXEMPLO DE CÁLCULO PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	72
ANEXO B - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	75

1 APRESENTAÇÃO

Com o avanço da tecnologia, principalmente no que se refere à evolução dos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, a sociedade apresenta uma alta dependência da energia elétrica para que as suas atividades possam ser executadas. Tal dependência é de fácil percepção nos momentos críticos, como *blackouts* ou racionamentos, onde grande parte da população fica “perdida” sem a comodidade que a eletricidade pode proporcionar, através dos equipamentos que alimenta.

Como forma de manter o suprimento de energia elétrica é necessário que a geração de energia tenha capacidade de suportar tal demanda, além das perdas totais do sistema elétrico nacional que podem chegar a 17,5%, sendo divididas em: transmissão (4,2%), distribuição (13,3%) e consumo final que em 2014 atingiu os 14,9% (BEN, 2015). Nas duas primeiras etapas as perdas são inerentes do processo, uma vez que dependem das características físicas e potência transmitidas e distribuídas, já no consumo final o desperdício de energia pode ser reduzido, substituindo aparelhos ineficientes por outros com menor consumo de energia elétrica.

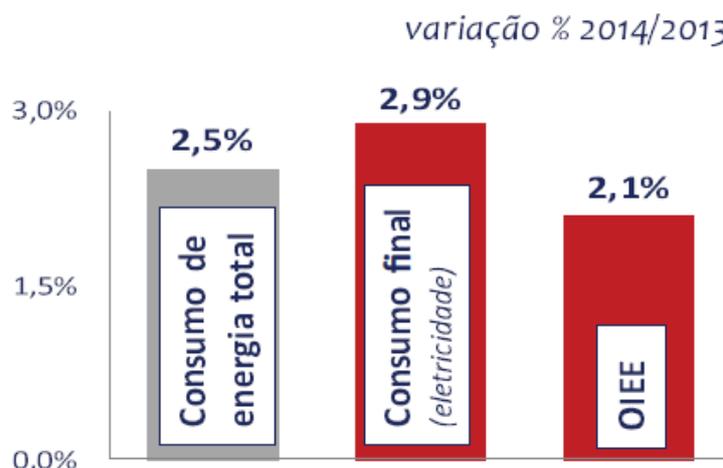
O consumo final de energia elétrica no Brasil pode ser dividido em: Indústria (17,68 Mtep); Residencial (11,36 Mtep); Setor Elétrico (2,68 Mtep); e Setor de Serviços (12,5 Mtep) (BEN, 2015). Nota-se que os setores de serviço e industrial representam, juntos, um consumo de mais de 30 Mtep.

Frente ao exposto, este trabalho visa estudar os métodos descritos nas políticas de Eficiência Energética (EE) voltado para edificações comerciais, de serviço e públicas, além de desenvolver uma ferramenta computacional para análise prévia da etiquetagem de edificações no âmbito do programa brasileiro de etiquetagem.

1.1 MOTIVAÇÃO

No ano de 2014 a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) cresceu apenas 2,1%, enquanto o consumo final de energia elétrica teve crescimento de 2,9% (BEN, 2015), como é mostrado na Figura 1.

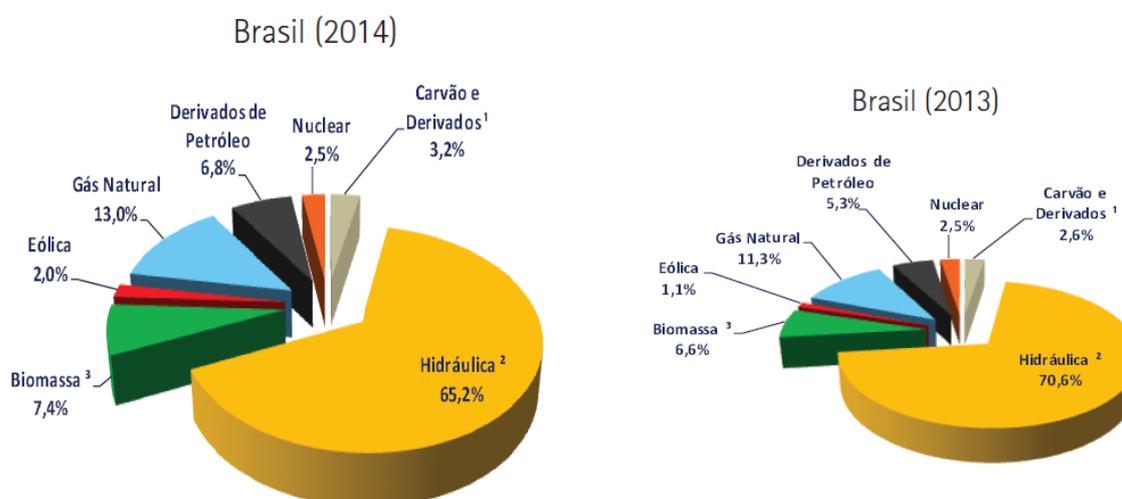
Figura 1 - Crescimento do Consumo Final em relação a 2013 (BEN, 2015)



Fonte: Balanço Energético Nacional 2015, ano base 2014.

A utilização de fontes renováveis de energia tem participação superior a 70% na matriz elétrica, o que significa que o Brasil produz mais energia “limpa” do que o resto do mundo, cuja geração de energia por fontes renováveis é próxima de 20% (BEN, 2015). Porém devido à situação caótica que os reservatórios do sudeste apresentam desde de meados de 2014, como pode ser observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a OIEE teve um crescimento menor que o consumo final, pois a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira sofreu queda entre 2013 e 2014, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Balanço Energético Brasileiro, 2015

Tabela 1 - Nível dos Reservatórios Brasileiros

Reservatório	Nível em 10/03/2013 (%)	Nível em 10/03/2014 (%)
Ilha Solteira*	48,03	0
Três Irmãos	46,55	0
Itumbiara	18,1	13,66
Furnas	31,69	13,96
Nova Ponte	28,22	14,37
Emborcação	40,26	16,69
Sobradinho	53,64	17,91
Três Marias	20,49	19,8
Mascarenhas	76,68	20,27
Luiz Gonzaga	28,52	21,22
Serra da Mesa	36,84	28,62
Chavantes	50,16	29,08
Capivara	33,29	31,78
Jurumirim	53,54	37,63
Passo Real	62,81	39,71
Tucuruí	98,31	44,33
Passo Fundo	87,68	84,8

*Usinas operando abaixo do nível mínimo

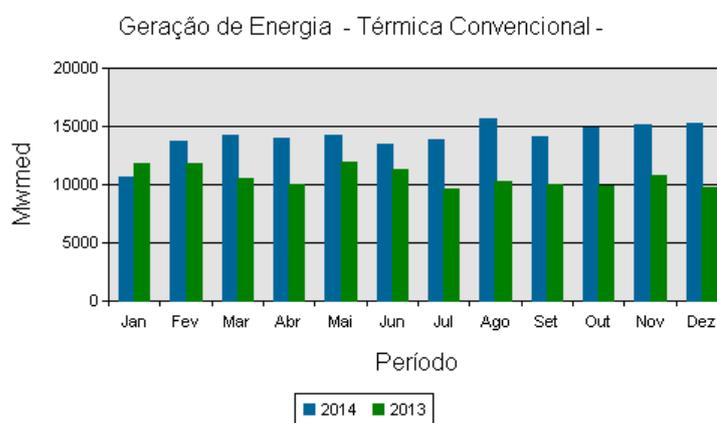
Fonte: Folha de S. P., 2014

Esse fato acarreta uma consequência imediata para o consumidor brasileiro, industrial ou residencial, uma vez que para manter a confiabilidade e capacidade de fornecimento de energia do Sistema Integrado Nacional (SIN), o Operador Nacional do Sistema (ONS) é obrigado a colocar em funcionamento as usinas termelétricas (como pode-se notar através da Figura 3), as quais possuem custo de operação maior que as hidrelétricas, e por conseguinte, um custo maior do kWh.

Tendo em vista o cenário apresentado, a EE se mostra uma alternativa viável para que os custos de geração de energia elétrica sejam amortizados, pois segundo WEG (2014), "Cada MWh conservado custa em média R\$80,00, aproximadamente 30% menos do que o custo para disponibilizar 1 MWh no sistema elétrico nacional".

Vale ressaltar que tal afirmação leva em conta o processo de efficientização em indústrias.

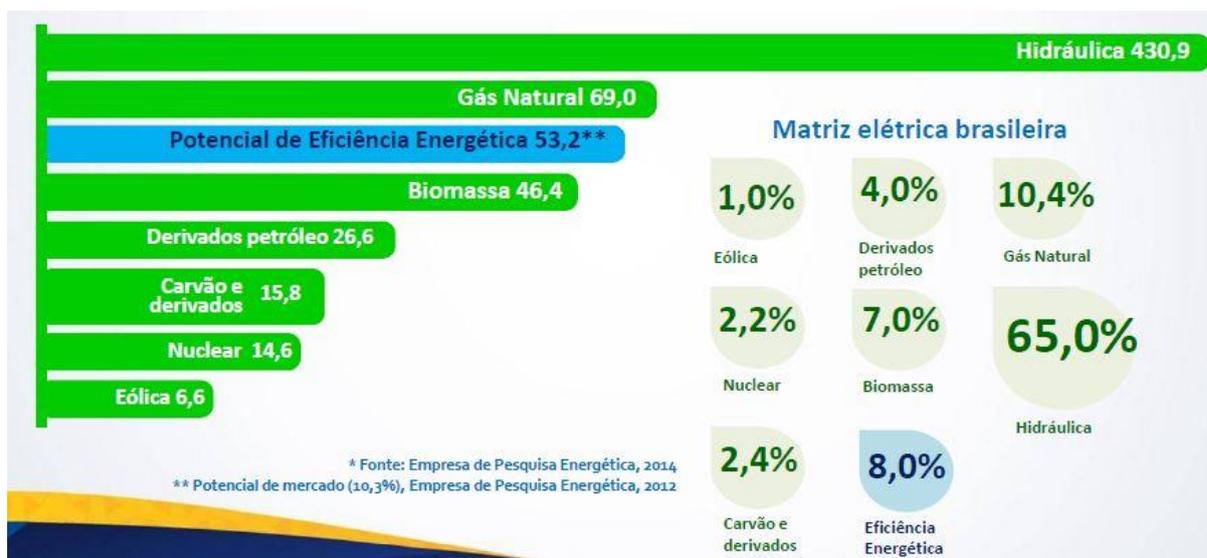
Figura 3 - Geração de Energia Térmica



Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS)

Além de ser economicamente mais viável do que geração da mesma quantidade de energia economizada, considerando as fontes energéticas que compõe a matriz elétrica brasileira atualmente, o potencial de EE se apresentaria como sendo a terceira principal fonte de energia brasileira, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Participação da EE na Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Eficiência Energética e a Nova Regulamentação do PEE ANEEL, I Workshop PEE
 Celesc

A partir da situação apresentada e do desejo em realizar um trabalho no âmbito de EE, optou-se pela realização de um projeto de efficientização em edificações,

seguindo as indicações propostas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) através do RTQ-C, RAC-C e Manual para Aplicação do RTQ-C.

1.2 HIPÓTESE

Esperava-se que com este Trabalho de Conclusão de Curso, fosse possível caracterizar o nível de eficiência energética do Bloco E do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em termos da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do PBE Edifica.

Para a realização deste estudo pretendia-se utilizar o método prescritivo de avaliação, porém para que a aplicação deste método ocorresse de forma automática, necessitando-se apenas do conhecimento dos valores das variáveis descritas no RTQ-C, será desenvolvido um *software* que realize tais cálculos.

Como consequência do trabalho vislumbra-se trazer à tona a discussão a respeito da EE dentro do Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC e da IES como um todo, mostrando a necessidade de se ter edificações eficientes no campus para que haja a redução do consumo de energia elétrica e a consequente diminuição do valor da tarifa energética paga hoje pela IES.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O foco deste projeto foi avaliar quais as medidas de efficientização energética seriam mais efetivas para que se alcançasse melhores nível de etiquetagem para os sistemas de iluminação, ar-condicionado e envoltória, segundo as normas do PBE Edifica, aplicada nos principais ambientes de utilização das edificações do CCT UDESC. Por meio deste trabalho, esperou-se fazer a análise comparativa da eficiência energética tomando como parâmetro principal as Etiquetas PBE Edifica, recebidas pelos ambientes antes e depois de se realizar as trocas de fato, ou as simulações de trocas, dos sistemas de iluminação e ar-condicionado.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos correspondem a um aprofundamento do objetivo geral referentes a todo projeto.

- 1) Revisão bibliográfica sobre o PBE Edifica e o processo de Etiquetagem de Edificações;
- 2) Levantar e analisar trabalhos acadêmicos e comerciais semelhantes na área de EE de edificações.
- 3) Fazer o estudo da situação atual dos ambientes que serão avaliados quanto à etiquetagem;
- 4) Fazer o estudo da nova situação dos ambientes que foram eficientizados de fato ou via simulação;
- 5) Desenvolver a análise de sensibilidade em relação aos impactos na etiquetagem em virtude das melhorias propostas para cada ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo dedica-se a elucidar o leitor quanto aos conceitos e legislações que regem os processos de etiquetagem no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem, tendo como foco principal a etiquetagem de edificações, tema deste trabalho de conclusão de curso.

Serão apresentados, ainda, os trabalhos acadêmicos e profissionais mais relevantes realizados na área.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL) "Por definição, a EE consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização", ou seja, EE consiste em fazer as mesmas atividades realizadas anteriormente, no entanto, utilizando menos energia para isto.

O maior potencial para melhoria da EE encontra-se naqueles equipamentos em que a energia elétrica é transformada em outra forma de energia, como por exemplo no sistema de iluminação, onde o objetivo final é o fornecimento de luminosidade, porém para que isto seja possível é necessário utilizar a energia elétrica. Nas lâmpadas incandescentes, por exemplo, a máxima EE obtida é de 12,9 lm/W (INMETRO, 2014), enquanto que em uma lâmpada LED esse valor pode chegar a 113,7 lm/W (CB3E, 2013).

Em edificações a EE pode ser obtida, principalmente, a partir dos sistemas de iluminação, condicionadores de ar e envoltória. Esta última refere-se a quesitos como posição geográfica, transmitância térmica das paredes e coberturas e, até mesmo, a cor da edificação pode influenciar na EE.

2.3 LEI DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em 2001, durante o mandato do, então, presidente do Brasil, Fernando Henrique Cardoso, o país enfrentou uma das piores crises energéticas da sua história.

Além da matriz energética da época ser baseada majoritariamente por hidrelétricas e ter se enfrentado um período de chuvas escassas, a capacidade de transmissão de energia entre a região sul, local que havia abundância de chuvas, e o resto do país era limitada, o que acarretou um racionamento nos estados do norte, nordeste e sudeste, mas não nos estados do sul. Para reduzir o consumo de energia no país, decretou-se situação de racionamento e várias medidas econômicas foram tomadas (ELETROBRÁS, 2015)

No ano de 2000, mais precisamente em 24 de julho, a ANEEL, mostrando a preocupação com a necessidade de se ter políticas regulamentando a EE, definiu, através da Lei nº 9.991, que:

As concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de EE no uso final (BRASIL, 2000).

Hoje ambos os percentuais foram alterados para meio por cento, através da Lei nº 11.465, de 28 de março de 2007 (BRASIL, 2007)

Foi então que no dia 17 de outubro de 2001 foi promulgada a Lei nº 10.295 que passou a ser conhecida por "Lei da Eficiência Energética" (BRASIL, 2001). Ela dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, definindo como serão estabelecidos os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética.

De forma a implementar tal política, no dia 19 de dezembro de 2001, sob o Decreto nº 4.059, foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) (BRASIL, 2001). O comitê é composto por membros do Ministério de Mina e Energia (MME), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), ANEEL, Agência Nacional do Petróleo (ANP), representante da academia e da sociedade, sendo os últimos especialistas na matéria de energia.

Dentre as atividades do CIGEE, estabelecidas pelo Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001), estão:

- Elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia;

- Estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;
- Constituir Comitês Técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas sob apreciação do CGIEE, inclusive com a participação de representantes da sociedade civil (BRASIL, 2001).

Vale ressaltar que o CGIEE e seus Comitês Técnicos trabalham com o suporte de diversos órgãos governamentais, tais como Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL/ELETROBRAS, Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural – CONPET, do Centro de Pesquisa em Energia Elétrica – CEPEL, da ANEEL e da ANP.

Em 2003, foi criado, pelo CGIEE, o “Grupo de Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações do País” (GT-Edificações), Grupo Técnico focado para discutir especificamente as questões relacionadas a EE em edificações (ELETROBRAS/PROCEL et al., 2013). Ao Grupo é atribuída as atividades de regulamentar e definir métodos de avaliação da EE das edificações do país.

2.4 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi instituído em dezembro de 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e Indústria e Comércio, para ser executado por uma Secretaria Executiva subordinada à Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás). Em 1991, o PROCEL acabou se tornando um programa de governo.

O programa foi criado para que pudessem ser efetivadas políticas públicas de combate ao desperdício e do mau uso da energia elétrica. Além disso, contribui para a preservação do meio ambiente através de suas ações.

Ele é financiado por recursos da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão (RGR) – fundo federal constituído por recursos das concessionárias. Através da Figura 5 pode-se observar a economia de energia proporcionada pelo programa no ano de 2013 Estima-se que desde a sua criação o PROCEL já tenha proporcionado uma economia de mais de 70 bilhões kWh (ELETROBRAS, 2014).

Na Figura 6 são mostrados os gastos com energia elétrica que foram evitados pelo programa entre os anos de 2009 e 2013. Já na Figura 7 pode ser observado a

representatividade da economia proporcionada pelo PROCEL em relação ao uso de energia elétrica no âmbito residencial.

Figura 5 - Economia de Energia em função das ações do Procel Eletrobrás (em bilhões de kWh)



Fonte: ELETROBRAS, Resultados PROCEL 2014, 2014

Figura 6 - Custos Evitados pelo PROCEL Eletrobrás



Fonte: ELETROBRAS, Resultados PROCEL 2014, 2014

Figura 7 - Representatividade da economia de energia elétrica em relação ao consumo total e ao consumo residencial do Brasil



Fonte: ELETROBRAS, Resultados PROCEL 2014, 2014

Segundo Eletrobras (2015), buscando atingir o seu objetivo, o PROCEL estabeleceu subprogramas:

- Procel Avaliação (Resultados das Ações de Eficiência Energética)
- Procel Edifica (Eficiência Energética em Edificações)
- Procel Educação (Informação e Cidadania)
- Procel EPP (Eficiência Energética nos Prédios Públicos)
- Procel GEM (Gestão Energética Municipal)
- Procel Indústria (Eficiência Energética Industrial)
- Procel Info (Centro Brasileiro de Informação em Eficiência Energética)
- Procel Marketing (Conscientização e Informação)
- Procel Reluz (Eficiência Energética na Iluminação Pública)
- Procel Sanear (Eficiência Energética no Saneamento Ambiental)
- Procel Selo (Eficiência Energética em Equipamentos)

O Selo PROCEL de Economia de Energia ou apenas Selo Procel, foi instituído pelo Decreto Presidencial de 8 de dezembro de 1993 (BRASIL, 1993). O selo, mostrado na Figura 8, é de caráter voluntário e tem por objetivo permitir que o consumidor residencial tenha a informação sobre qual equipamento ou eletrodoméstico possui maior EE.

Figura 8 - Selo Procel



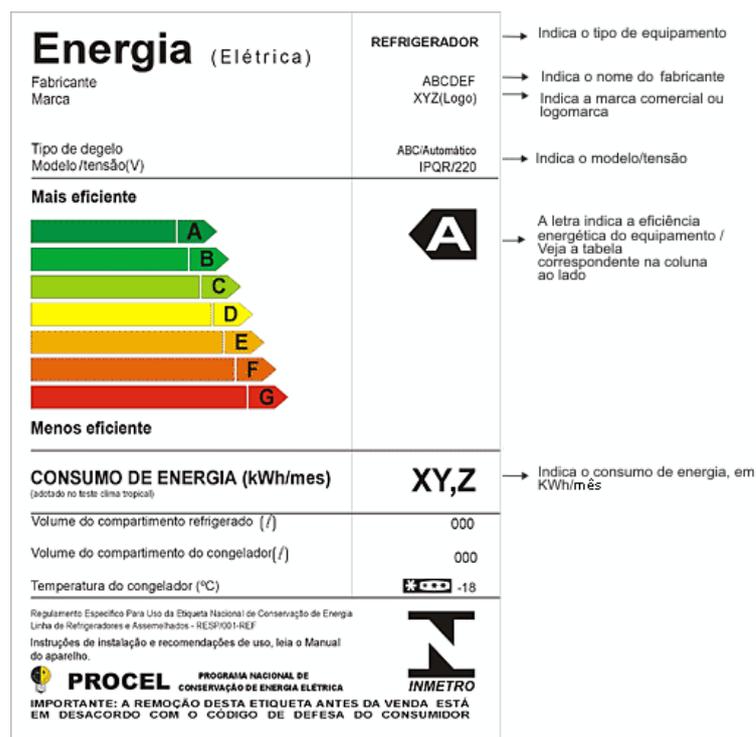
Fonte: ELETROBRAS, Resultados PROCEL 2014, 2014

2.5 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE

Com o mesmo intuito do Selo Procel, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), foi criado em 1984, a partir de discussões iniciadas pelo Instituto Nacional de

Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), e trabalha em parceria com o Procel e o Conpet. Ao invés de trabalhar premiando apenas os melhores equipamentos de cada categoria, o programa busca classificar os aparelhos em níveis de consumo, sendo estes variáveis de “A”, mais eficiente, à “E”, menos eficiente, conforme ilustra a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (INMETRO, 2010) da Figura 9.

Figura 9 – ENCE para equipamentos



Fonte: INMETRO, 2014

Vale ressaltar que os selos Procel e Conpet trabalham integrados à etiqueta PBE, conferida pelo INMETRO, incentivando, assim, a evolução tecnológica em prol da melhoria da EE dos aparelhos.

Existem, hoje, mais de trinta e oito programas no âmbito do PBE, sendo alguns executados há mais de 20 anos, como refrigeradores e condicionadores de ar. Já outros possuem pouco tempo de implantação, como os programas que avaliam veículos leves, edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo que este motiva o presente trabalho de conclusão de curso.

2.5.1 PBE Edifica

Em 2003, a Eletrobras/Procel, visando o cumprimento da “Lei da Eficiência Energética” (BRASIL, 2001), criou um subprograma intitulado Procel Edifica, tendo por objetivo atuar de forma a viabilizar parâmetros onde fosse possível medir a EE de edificações.

Acredita-se que o potencial para economia energética em edificações já existentes pode atingir patamares de 30%, enquanto em projetos novos esse percentual pode atingir 50%, uma vez que a EE seja levada em conta desde a fase de projeto (ELETROBRAS/PROCEL et al, 2013).

No ano de 2005, de forma a implementar ações no âmbito da Lei 10.295, o GT Edificações criou a Secretaria Técnica de Edificações (ST-Edificações), para que esta discutisse os aspectos técnicos dos parâmetros a serem adotados na eficiência de edificações.

Uma vez que já existia o Procel Edifica, iniciativa que possuía incumbências muito semelhantes à da ST-Edificações, este acabou assumindo a coordenação da ST. Ainda em 2005, o INMETRO passou a integrar o processo de discussão a respeito dos índices de eficiência e das formas de obtenção da ENCE, através da “Comissão Técnica de Edificações” (CT-Edificações).

Após a criação e efetivação do trabalho das comissões, secretarias e programas supracitados, desenvolveu-se as regulamentações a serem seguidas para avaliação da EE das edificações. Para as residenciais desenvolveu-se o “Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais” (RTQ-R), e para as edificações comerciais e públicas foi desenvolvido o conjunto de “Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” (RTQ-C) (INMETRO, 2010).

Foram desenvolvidos como material complementar aos RTQ, os “Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais” (RAC-R) e os “Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas” (RAC-C) (INMETRO, 2013), bem como os Manuais Para Aplicação relativos a cada RTQ (INMETRO, 2015).

Figura 10 - Linha temporal de lançamento das regulamentações do PBE Edifica



Fonte: ELETROBRAS/PROCEL, Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, 2013

Os RTQ-C e RTQ-R contêm os quesitos necessários para classificação do nível de EE das edificações. O RAC apresenta os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros. É o documento que permite à edificação obter a ENCE do INMETRO. Já os manuais contêm detalhamento e interpretações dos regulamentos técnicos - RTQ-C e RTQ-R - e esclarece algumas questões referentes ao RAC (ELETROBRAS/PROCEL et al., 2013).

Para o sistema de Iluminação os requisitos mínimos para obtenção do conceito A em EE são: (RTQ-C, 2013)

- Controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente;
- Acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura, e forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível;
- Ambientes maiores que 250 m² deverão possuir controle automático para desligamento da iluminação.

Para o sistema de Condicionamento de Ar os requisitos mínimos para obtenção do conceito A em EE são: (RTQ-C, 2010)

- As unidades condensadoras devem estar sombreadas permanentemente e com ventilação adequada;
- Isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração;
- As edificações onde é necessário adotar um sistema de aquecimento artificial devem atender aos indicadores mínimos de eficiência energética indicados em 5.1.3.

Para o sistema de Envoltória os requisitos mínimos para obtenção do conceito A em EE são: (RTQ-C, 2010)

- A transmitância térmica de cobertura e de paredes não poderá ultrapassar os níveis estipulados no item 3.1.1.1;
- As cores utilizadas nas paredes e cobertura precisam respeitar os índices de absorvância de superfícies indicados no item 3.1.1.2;
- No caso de existência de aberturas zenitais, a edificação deve atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos Percentual de Abertura Zenital (PAZ), de acordo com a Tabela 3.1.

2.5.2 Obtenção da ENCE para Edificações

O processo de obtenção de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia é feito através da inspeção dos itens contidos nos RTQ, seguindo as orientações do RAC. Porém, essa atividade necessita ser feita por um Órgão de Inspeção Acreditado (OIA) pelo INMETRO.

Podem ser emitidas duas ENCE para a mesma edificação, uma para o projeto e outra para a edificação construída, sendo a ENCE de projeto facultativa para edificações existentes.

A inspeção dos requisitos da edificação pode ser feita segundo dois métodos: prescritivo ou simulação. O primeiro utiliza-se de tabelas e fórmulas, enquanto o segundo utiliza-se de cálculos termoenergéticos, sendo este mais flexível, uma vez que permite a incorporação de soluções tecnológicas, maior liberdade de projeto, além de avaliar situações não previstas nos RTQs.

Atualmente, o processo de etiquetagem é voluntário, porém consta no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (BRASIL, 2011) a obrigatoriedade da obtenção das ENCEs para edificações públicas até 2021, para edificações comerciais até 2026 e para edificações residenciais até 2031.

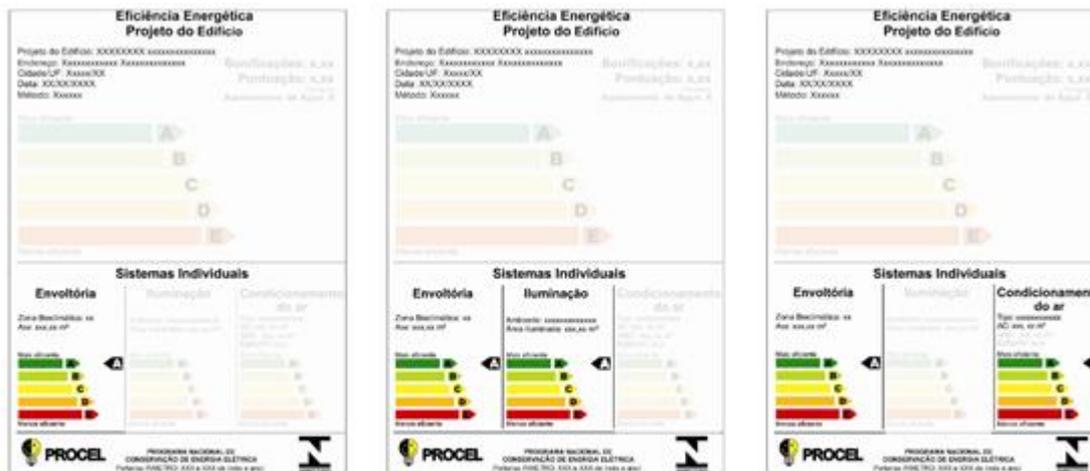
A ENCE de uma edificação pode ser geral ou parcial. Sendo que ENCE geral avalia os sistemas de condicionamento do ar, iluminação e envoltória, enquanto a ENCE parcial pode ser obtida apenas para o sistema de envoltória, envoltória e iluminação ou envoltória e condicionamento do ar. As ENCEs geral e parcial podem ser observadas na Figura 11 e na Figura 12.

Figura 11 - ENCE geral para Edificações



Fonte: RAC-C

Figura 12 - ENCE parcial para edificações



Fonte: INMETRO, RAC-C, 2010

2.6 TRABALHOS CORELACIONADOS

Por se tratar de um tema relativamente novo, tendo aproximadamente 10 anos, os trabalhos acadêmicos relacionados à área tendem a aumentar nessa década, haja vista a situação energética e hídrica do cenário brasileiro. Dessa forma, a necessidade do aumento da eficiência de equipamentos, eletrodomésticos, edificações, etc. para redução do consumo de energia elétrica terá papel fundamental no equilíbrio do sistema elétrico brasileiro.

No trabalho de De Souza Junior e Henriques (2009) foi desenvolvido um estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba, tendo este recebido, segundo os estudos realizados, uma classificação energética nível B, utilizando-se para tal o método prescritivo. Uma vez que o período em que tal edificação foi construída não havia a preocupação por EE, a classificação B se mostrou além do previsto inicialmente, sendo este resultado muito satisfatório.

Já no trabalho de Dias e Da Silva (2010) intitulado “Estudo de Viabilidade da Aplicação do Programa Procel Edifica em Edifícios Comerciais já Existentes: Estudo de Caso em um Edifício Comercial de Curitiba”, apresenta um estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba-PR. Tal estudo aborda a EE em termos da etiqueta PBE Edifica. Foi analisado, individualmente, cada ambiente da edificação, obtendo-se níveis de eficiência para tais a partir do método prescritivo. Para o sistema de iluminação obteve-se Nível C, para o sistema de condicionamento do ar foi encontrado Nível A. Já para o sistema de envoltória a eficiência foi bem menor, sendo encontrado Nível E. Considerando-se estes níveis encontrados o edifício foi classificado como eficiência D.

A dissertação de Bottamedi (2011) intitulada “Avaliação da Eficiência Energética de Hotéis de Quatro Estrelas em Florianópolis: Aplicação do Programa De Etiquetagem De Edificações”, teve como objetivo aplicar o PBE em hotéis de quatro estrelas a fim de verificar a influência que os parâmetros de envoltória têm sobre o consumo de energia. A proposta incluí a avaliação, pelos métodos prescritivo e de simulação, de 34 hotéis. Ao final do trabalho observou-se que a variação de oito parâmetros da envoltória (PAFt; AHS; Upar; Ucob; apar e acob) pode influenciar em até 9% o consumo de energia elétrica.

Além dos trabalhos citados, Silva (2014), Betts (2011) e Sotopietra (2012) apresentam estudos semelhantes a Dias e Da Silva (2010). Os três trabalhos

apresentam um estudo de caso em determinada edificação, porém a análise é feita apenas para o sistema de envoltória, ou seja, a etiqueta calculada pelo método prescritivo será parcial, como exemplificado na Figura 12.

No âmbito profissional, por outro lado, várias edificações já se encontram etiquetadas tendo por base o PBE Edifica. A relação das edificações comerciais já etiquetadas pode ser encontrada no site do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Já a relação de OIAs para certificação da EE de edificações pode ser encontrada em no site do INMETRO.

2.7 RESUMO DO CAPÍTULO

Mesmo com a recente melhora no nível dos reservatórios brasileiros, ainda se faz necessário que atitudes sejam tomadas para evitar o consumo desenfreado de energia elétrica. O presente trabalho apresenta uma das alternativas ao exposto, avaliando edifícios comerciais, públicos e de serviços com intuito de etiquetá-los quanto a EE.

Notou-se, através da análise dos trabalhos correlacionados, que pela familiaridade do tema com áreas como engenharia civil e arquitetura, grande parte destes são desenvolvidos tendo como foco principal apenas o estudo da envoltória do edifício.

3 ALGORITMO DE CÁLCULO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo tratar-se-á do desenvolvimento dos algoritmos utilizados para a automatização do processo de cálculo da etiqueta de eficiência energética, tendo como base as orientações descritas no RTQ-C.

3.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

De acordo com o RTQ-C existem duas maneiras de se obter a ENCE da edificação, são elas o método de simulação e o método prescritivo. O primeiro refere-se à utilização de um *software* para simulação do ambiente, o que acaba tornando o processo mais complexo, mas ao mesmo tempo mais flexível, uma vez que permite ao avaliador projetar aberturas com vidros de alto rendimento, bonificações com eficiência comprovada via simulação, ou, ainda, implementar medidas não previstas no RTQ-C.

O método prescritivo de cálculo, por outro lado, apresenta uma rigidez maior quando estabelece níveis mínimos e máximos para enquadramento da edificação em faixas e eficiência. A edificação é dividida em três grandes grupos: Envoltória, Iluminação e Condicionamento de ar. Para cada sistema é possível encontrar uma eficiência energética associada.

Neste trabalho o método prescritivo de cálculo foi escolhido, uma vez que a edificação já se encontra construída e as possibilidades de modificações são mais pontuais.

Para o desenvolvimento do algoritmo optou-se por utilizar dois *softwares*, o *MICROSOFT EXCEL®* e *MATLAB®*. O primeiro foi utilizado para o desenvolvimento da entrada de dados e banco de dados, enquanto o segundo é responsável pela análise dos dados segundo o RTQ-C.

3.3 AMBIENTE MICROSOFT EXCEL®

O objetivo principal da utilização da ferramenta Excel neste trabalho foi utilizá-lo como banco de dados para posterior carregamento destas informações no *software*

MATLAB®. Para isso foi utilizado o recurso das Macros, presentes no *software*. Através delas consegue-se desenvolver rotinas para organização dos dados inseridos pelo usuário. Como exemplo pode ser citado o botão “Iniciar o Sistema”, presente na página inicial do sistema representada na Figura 13. Este botão possui a incumbência de limpar todas as variáveis presentes no banco de dados.

Figura 13 – Página inicial do *software*

CÁLCULO DE ETIQUETAGEM SEGUNDO PBE EDIFICA			
INICIAR O SISTEMA			
SISTEMA DE ENVOLTÓRIA	SISTEMA DE AC	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	Bonificação 0,00
Preencha as informações dos sistemas da edificação da esquerda para direita			
			
FINALIZAR SISTEMA			
Cálculo Parcial da Etiqueta de Edificação segundo os Requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem			
Universidade do Estado de Santa Catarina		Rodolfo Vanassi Bernardi	

Fonte: Próprio Autor

Como o método prescritivo de análise estratifica a ENCE Geral em três grupos, da mesma forma foi desenvolvida a entrada de dados. As Figuras 14, 15 e 16 apresentam o *layout* desenvolvido para o sistema de envoltória, condicionamento do ar e iluminação, respectivamente.

O *software* permite ao usuário a inserção das informações de um cômodo por vez, sendo necessária a utilização do botão “Cadastrar Dados”, para que estes sejam salvos no banco de dados.

Para cada sistema foi desenvolvido o botão “Corrigir Último”, que permite ao usuário apagar do banco de dados as últimas informações cadastradas. Outro botão comum a todos os sistemas é o “Voltar”, responsável por direcionar o programa para a página inicial.

Figura 14 – Sistema de Envoltória

Envoltória												
Zona Bioclimática:	A_{TOT} (m ²):	A_{PCOB} (m ²):	A_{PE} (m ²):	V_{TOT} (m ³):	A_{ENV} (m ²):	FS:	PAF _r :	PAF _o :	AVS (°):	AHS (°):	Aútil (m ²):	APT (m ²):
Cadastrar Dados			Pronto!			Corrigir			Voltar			
 UDESC UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA			 PET Engenharia Elétrica			 LAPER Lab. de Planejamento Energético						

Fonte: Próprio Autor

Figura 15 – Sistema de Condicionamento de Ar

Condicionamento de Ar																					
Instruções:	1) Caso o ambiente possua mais de um AC preencha os campos e clique em Adicionar +AC. 2) Ao finalizar a inclusão de todos os dados do EDIFÍCIO clique em "Cadastrar Novo Local" e depois em "Pronto!"																				
 UDESC UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  PET Engenharia Elétrica  LAPER Lab. de Planejamento Energético	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Método da Área do Edifício</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Área (m²)</th> <th>Capacidade (BTU/h)</th> <th>Eficiência (A, B, ...)</th> <th>Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Local</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Cadastrar Novo Local</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Adicionar + AC</p> <p style="text-align: center;">Pronto!</p> <p style="text-align: center;">Corrigir Último AC</p> <p style="text-align: right;">Voltar</p>	Método da Área do Edifício						Área (m ²)	Capacidade (BTU/h)	Eficiência (A, B, ...)	Tipo	Local					Cadastrar Novo Local				
Método da Área do Edifício																					
	Área (m ²)	Capacidade (BTU/h)	Eficiência (A, B, ...)	Tipo																	
Local																					
Cadastrar Novo Local																					

Fonte: Próprio Autor

Figura 16 – Sistema de Iluminação

Iluminação																													
Instruções:	1) Cadastre um local por vez, após preencher os campos clique em Cadastrar Dados																												
Escolha o Método:	<input type="radio"/> Método das Áreas do Edifício <input checked="" type="radio"/> Método das Atividades do Edifício																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Método da Área do Edifício</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Área (m²)</th> <th>Potência (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Local</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Cadastrar Dados</td> </tr> </tbody> </table>	Método da Área do Edifício				Área (m ²)	Potência (W)	Local			Cadastrar Dados			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Método das Atividades do Edifício</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Área (m²)</th> <th>Potência (W)</th> <th>Função</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Local</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Cadastrar Dados</td> </tr> </tbody> </table>	Método das Atividades do Edifício					Área (m ²)	Potência (W)	Função	Local				Cadastrar Dados			
Método da Área do Edifício																													
	Área (m ²)	Potência (W)																											
Local																													
Cadastrar Dados																													
Método das Atividades do Edifício																													
	Área (m ²)	Potência (W)	Função																										
Local																													
Cadastrar Dados																													
<p>Pronto!</p> <p>Corrigir último</p> <p style="text-align: right;">Voltar</p>																													
 UDESC UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  PET Engenharia Elétrica  LAPER Lab. de Planejamento Energético																													

Fonte: Próprio Autor

3.3.1 Sistema de Iluminação

Para o sistema de iluminação previu-se a possibilidade de escolha do método de cálculo pela Área do Edifício ou Atividades do Edifício, conforme a Figura 16.

Previu-se, ainda, a possibilidade de o usuário escolher, a partir de uma lista a atividade do cômodo, bem como optar entre os índices *Room Cavity Ratio* (RCR) ou índice do ambiente (K), para obter bonificação em 20% na Densidade de Potência de Iluminação (DPIL), conforme demonstrado na Figura 17.

Figura 17 – Opções do usuário para o sistema de iluminação

Método das Atividades do Edifício				
Local	Área (m ²)	Potência (W)	Atividade	Índice
				RCR

Corrigir último

Voltar

Armazém de material pe
 Armazém de material mé
 Átrio de até 12,2m de al
 Átrio de até 12,2m de al
 Auditório
 Centro de Convenções
 Cinemas
 Teatro

Fonte: Próprio Autor

3.3.2 Sistema de Condicionamento de Ar

O sistema desenvolvido para a entrada de dados de condicionadores de ar foi desenvolvido prevendo-se a possibilidade de que cada cômodo possua mais de um aparelho, possibilitado pelo botão “Adicionar + AC”. Já o botão “Cadastrar Novo Local” permite ao usuário cadastrar quantos cômodos queira.

3.3.3 Sistema de Envoltória

O sistema de envoltória, por ser apenas um conjunto único de informações, acabou se tornando o de mais simples desenvolvimento, sendo necessário apenas a implementação de um botão para cadastrar as informações.

3.4 AMBIENTE MATLAB®

Com a utilização do *EXCEL*® como banco de dados, no *MATLAB*® foram executadas as rotinas de cálculos descritas no RTQ-C, além de exibir os resultados destes procedimentos.

Optou-se por utilizar estes dois *softwares* em virtude do conhecimento já existente com a plataforma de programação do *MATLAB*®, enquanto o *EXCEL*® é um *software* amplamente difundido ao redor do mundo. Todavia, vislumbra-se que este projeto possa ser implementado também em linguagem C#, ampliando, assim, sua gama de possibilidades e usuários, uma vez que com essa ferramenta é possível executar programas em qualquer máquina que possua o sistema operacional Windows com o aplicativo .NET integrado, o que é comum.

De forma a facilitar o entendimento do programa desenvolvido, este foi desmembrado em várias sub-rotinas de cálculo que o *MATLAB*® disponibiliza ao usuário. Inicialmente, seriam feitas sub-rotinas apenas para os sistemas pré-estabelecidos pelo RTQ-C, porém ao iniciar a implementação notou-se que esta estratégia ocasionaria um código com centenas de linhas de instruções, o que dificultaria qualquer tentativa de manutenção, quando esta fosse necessária, por exemplo na atualização do RTQ-C quando esta porventura ocorrer.

Assim, optou-se em dividir o programa nos sistemas previstos no RTQ-C e internamente a cada sistema desenvolver novas sub-rotinas capazes de simplificar e auxiliar no entendimento do código.

3.4.1 Sistema de Iluminação

Como citado anteriormente, o RTQ-C possui dois métodos de análise do sistema de iluminação: método das áreas do edifício e método das atividades do edifício. A implementação desta função foi desenvolvida através da estratégia *if...else*, possibilitada a partir da leitura de uma célula do *EXCEL*®.

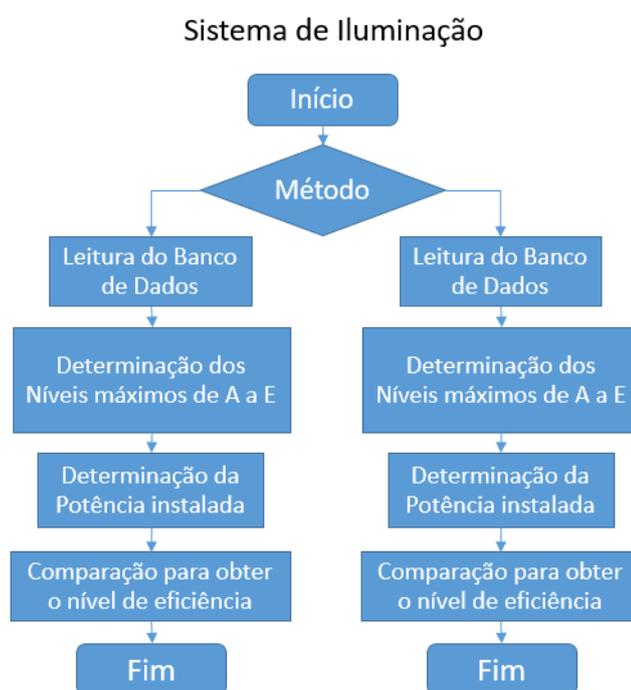
Com o método da análise estabelecido partiu-se para as formas de cálculo. Em ambos os casos foi desenvolvido uma sub-rotina para esta etapa. O cálculo para ambos os métodos é similar, sendo necessárias as informações da área total e por cômodo, potência total e por cômodo, índice K ou RCR e níveis máximos de densidade de potência de iluminação (DPIL) por faixa de eficiência, presentes no RTQ-C através

das Tabela 4.1, para o primeiro método, e Tabela 4.2, para o segundo. Um exemplo do cálculo para cada método pode ser observado no Anexo I deste relatório.

Após a obtenção da DPIL é necessário compará-la com a $DPIL_{max}$ de cada faixa de EE, obtida por meio da multiplicação da área de cada cômodo pelo seu limite máximo, assim quanto menor for a DPIL maior será o grau de eficiência obtida pela edificação.

A Figura 18 apresenta o fluxograma do algoritmo referente ao sistema de iluminação.

Figura 18 - Fluxograma do Sistema de Iluminação



Fonte: Próprio do Autor

3.4.2 Sistema de Condicionamento de Ar

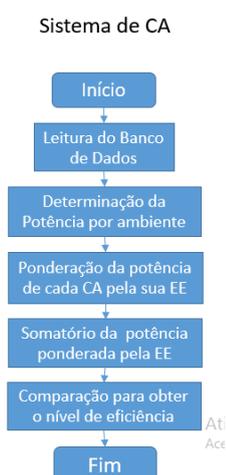
O sistema de condicionamento de ar apresenta maior dificuldade para implementação, uma vez que é possível adicionar mais de um aparelho por cômodo sem limite máximo de aparelhos, o que acarreta em um *software* genérico e extremamente amplo, o que na linguagem interpretada do *MATLAB*[®] custa tempo de execução.

O procedimento para determinação da EE do sistema de condicionamento de ar depende diretamente da classificação do aparelho obtida através de teste do INMETRO, pois após a ponderação dos cômodos pela potência dos aparelhos instalados, é feito a multiplicação deste coeficiente pelo equivalente numérico de eficiência do aparelho, para posterior soma dos resultados de todos os cômodos. O Anexo II possui um exemplo extraído do Manual de Aplicação do RTQ-C.

De posse destes resultados basta compará-los aos valores previstos para as faixas de EE para este sistema.

A Figura 19 apresenta o fluxograma do algoritmo referente ao sistema de condicionamento de ar.

Figura 19 – Fluxograma do sistema de Condicionador de Ar



Fonte Próprio do Autor

3.4.3 Sistema de Envoltória

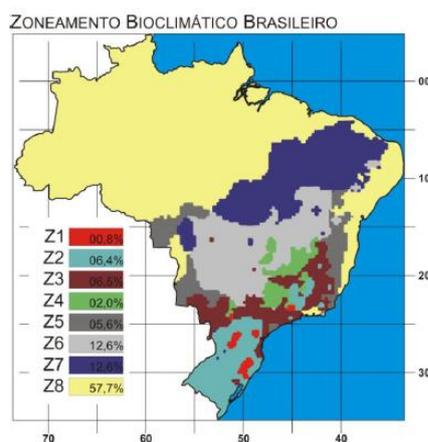
Para os cálculos da envoltória foram necessárias 5 funções, pois o cálculo do índice de consumo (IC) da envoltória é diferente para cada zona bioclimática (ZB) do Brasil, estando Joinville enquadrada na ZB 3, como se pode averiguar a partir do mapa da Figura 20.

Além do cálculo do IC é preciso encontrar os valores máximos e mínimos do Índice de Consumo, estes são determinados observados os valores de Fator Solar máximo (FS_{max}), Fator Solar mínimo (FS_{min}), Percentual de Abertura na Fachada máximo (PAF_{tmax}), Percentual de Abertura na Fachada mínimo (PAF_{tmin}), Ângulo

Vertical de Sombreamento (AVS) e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), determinados para cada zona bioclimática.

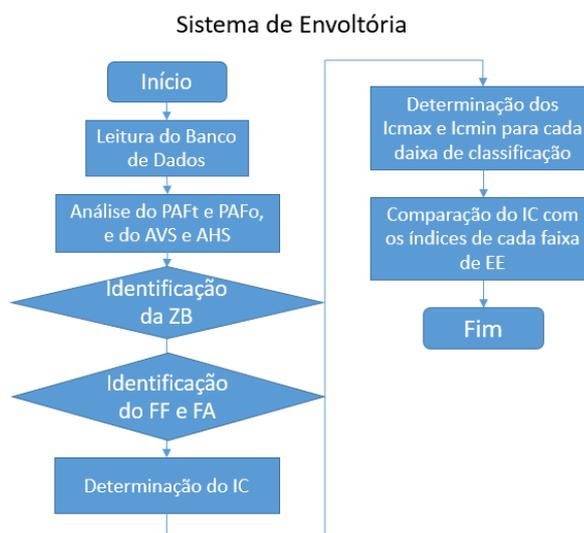
A Figura 21 apresenta o fluxograma do algoritmo referente ao sistema de envoltória.

Figura 20 – Divisão Bioclimática Brasileira



Fonte: RTQ-C, 2013

Figura 21 – Fluxograma para o sistema de envoltória



Fonte: Próprio Autor

3.4.4 ENCE Geral

O cálculo para obtenção da ENCE Geral da edificação foi desenvolvido utilizando os resultados previamente encontrados nos sistemas individuais, com estas pontuações em mãos, basta criar o algoritmo que execute a fórmula de cálculo da Equação 1, prevista no RTC-C.

$$PT = 0,3. \left\{ \left(EqNumEnv. \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,3. (EqNumDPI) + 0,4. \left\{ \left(EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (1)$$

Onde:

EqNumEnv: Equivalente Numérico da Envoltória

EqNumV: Equivalente Numérica de ambientes ventilados

EqNumDPI: Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação

EqNumCA: Equivalente Numérica do Condicionamento de Ar

AC: Área Condicionada

AU: Área Útil

APT: Área de Permanência Transitória

ANC: Área Não Condicionada

b: bonificações

3.5 PRÉ-REQUISITOS

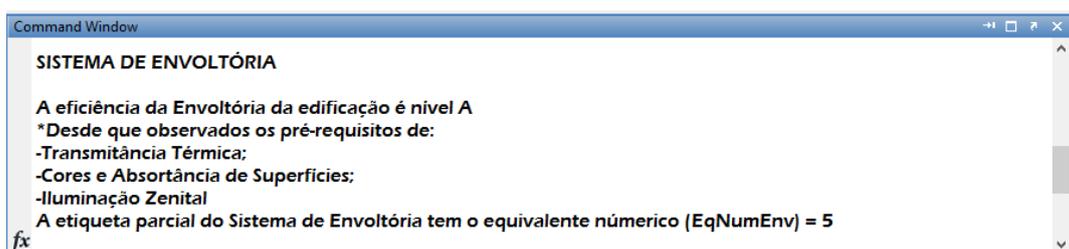
Para a certificação da edificação em uma classe de EE, segundo o PBE Edifica, além de atender aos níveis regulamentados no RTQ-C, precisa, também, estar de acordo com os pré-requisitos estabelecidos para a edificação como um todo e para os subsistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Optou-se por não implementar a verificação dos pré-requisitos no *software*, pois o objetivo do trabalho é verificar a eficiência da instalação, visualizando possíveis modificações que possibilitariam diminuição no consumo de energia elétrica, ao passo que os pré-requisitos já apontam medidas mínimas para as ENCEs Parciais e Geral. Dessa forma, permite-se ao usuário todo o cálculo automático da eficiência do edifício, restando apenas o cálculo dos pré-requisitos a ser desenvolvido manualmente.

3.6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Apesar de muito bom para cálculos numéricos o *software MATLAB®* apresenta poucos recursos gráficos para utilização, assim optou-se pela elaboração da saída de dados na forma de texto a ser exibida na janela de comando do *software*, como pode ser observado pela Figura 22.

Figura 22 – Resultado gerado pelo *software*



```
Command Window
SISTEMA DE ENVOLTÓRIA
A eficiência da Envoltória da edificação é nível A
*Desde que observados os pré-requisitos de:
-Transmitância Térmica;
-Cores e Absortância de Superfícies;
-Iluminação Zenital
A etiqueta parcial do Sistema de Envoltória tem o equivalente numérico (EqNumEnv) = 5
```

Fonte:

Próprio Autor

3.7 RESUMO DO CAPÍTULO

O desenvolvimento da ferramenta computacional apresentou desafios intelectuais significativos, ao passo que possibilitou a utilização de dois *softwares* e a necessidade de comunicação entre eles.

Entende-se que a utilização da plataforma *EXCEL®* confere um dinamismo maior à ferramenta, já que permite que o usuário insira os dados individualmente ou todos de uma única vez através da edição da tabela de banco de dados.

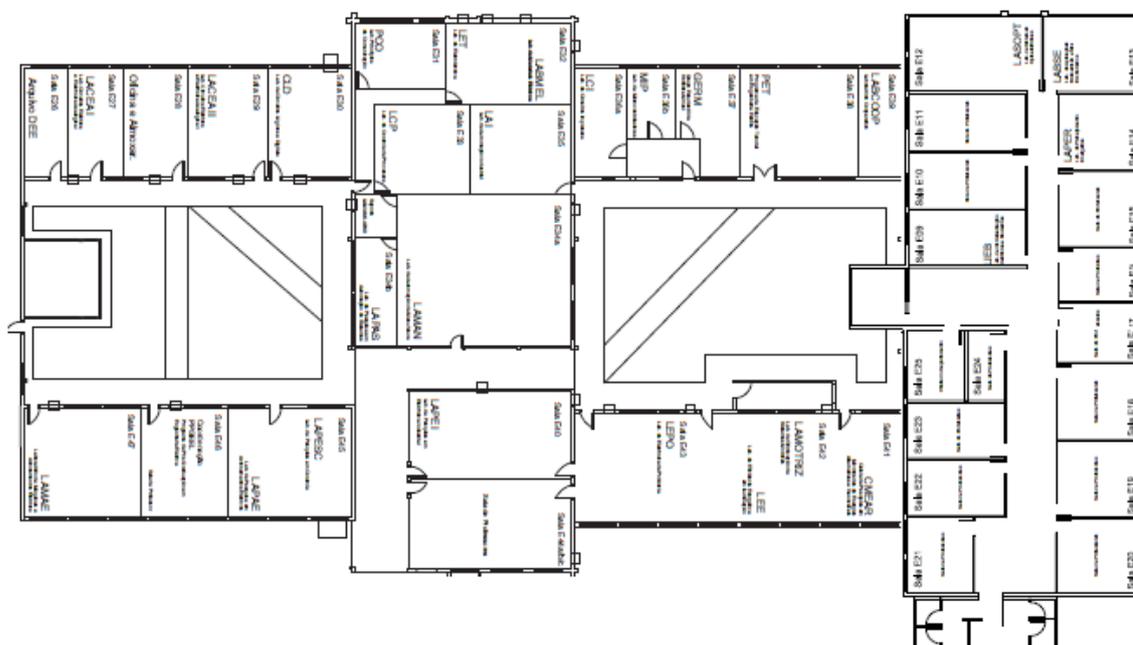
4 LEVANTAMENTO DE DADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os dados qualitativos utilizados para o cálculo das etiquetas parciais e geral referentes à edificação do bloco E, do Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), onde está instalado o departamento de Engenharia Elétrica da UDESC, e ilustrado pela planta baixa apresentada na Figura 23. Os cálculos serão abordados no capítulo 5. Dentre os dados, serão apresentados os materiais utilizados na construção, potência das lâmpadas e potência instalada dos condicionadores de ar.

Aproveita-se para destacar a contribuição que o Laboratório de Planejamento Energético (LAPER) teve nesta etapa do projeto, emprestando equipamentos e cedendo informações já levantadas sobre o sistema de iluminação do edifício em questão.

Figura 23 – Planta baixa do bloco E do CCT



Fonte: Próprio Autor

4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Como salientado na introdução deste capítulo, todas as informações do sistema de iluminação foram obtidas junto ao LAPER, todavia esses dados representam a situação luminotécnica do edifício no fim de 2014, quando foram realizados levantamentos de todos os blocos do CCT para uma possível participação da UDESC no edital do PEE Celesc 2014.

Optou-se por utilizar estes dados, pois mesmo tendo ocorrido algumas trocas de lâmpadas a estrutura de luminárias permaneceu inalterada. Assim, de forma a otimizar o tempo e focar esforços, preferiu-se utilizar esta situação representadas pelos dados contidos no Apêndice A

Quanto aos pré-requisitos deste sistema, para o nível A de eficiência, o edifício precisa apresentar: i) Contribuição da luz natural; ii) Controle manual para acionamento independente da iluminação do ambiente; e iii) desligamento automático para sistema de iluminação cuja área for superior a 250m².

Inicialmente realizou-se a verificação do pré-requisito (iii), porém como na edificação em questão não consta nenhuma sala com tais dimensões este não se aplica.

O pré-requisito (ii) é necessário para todos os níveis de eficiência a partir do nível D, verificou-se que todo o bloco atende a essa exigência, com exceção dos banheiros femininos e masculinos, os quais possuem os interruptores externos ao ambiente.

Para a contribuição da luz natural tem-se que a fileira de lâmpadas localizada mais próxima da janela deve possuir acionamento individual. Concluiu-se que como os ambientes são pequenos a ponto da luz natural ser suficiente para iluminação do mesmo, este pré-requisito é atendido pela edificação.

4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

De forma análoga ao sistema de iluminação pretendia-se utilizar os dados de condicionamento de ar coletados pelo LAPER, porém os dados existentes não apresentavam as informações de eficiência energética concedida pelo INMETRO, o que impossibilitou a utilização destes no trabalho.

Adotando a estratégia de focar esforços, entrou-se em contato com o setor de almoxarifado do CCT para verificar quais informações este possuía a respeito dos aparelhos de ar condicionado. Infelizmente, nas características anotadas por eles não consta, também, a informação da faixa de eficiência dos aparelhos. Todavia, estes dados contribuíram para mapear a quantidade e potência dos aparelhos instalados em cada sala do DEE.

Com as negativas encontradas nas duas situações anteriores decidiu-se por realizar o levantamento de dados *in loco*, demandando, assim, o período de uma semana para a atividade.

Além do tempo despendido para a atividade, outro obstáculo enfrentado foi o fato de que nem todos os aparelhos condicionadores de ar do departamento possuíam a etiqueta de eficiência afixada ao corpo, seja por maus cuidados ou por esta política não estar difundida no tempo de fabricação do aparelho. Este empecilho foi resolvido consultando-se as tabelas de eficiência de condicionadores de ar do INMETRO.

Para os aparelhos da marca *MIGRARE®* de 12000 BTUs, não foi possível obter a eficiência energética. Para casos como esse, o RTQ-C apresenta uma metodologia de cálculo para determinação da faixa de eficiência, porém devido à complexidade e a falta de equipamentos adequados para realizar as medições de variáveis exigidas pelo RTQ-C, optou-se por escolher um modelo similar da mesma marca, listado na tabela do INMETRO.

Para este sistema os pré-requisitos para o nível de eficiência são: (i) Proteção das unidades condensadoras; (ii) Isolamento térmico para dutos de ar; e (iii) Condicionamento de ar por aquecimento artificial.

Como a edificação não possui um sistema central de refrigeração/aquecimento não se faz necessária a análise dos pré-requisitos (ii) e (iii).

Já o pré-requisito (i) não é atendido pela edificação, ficando esta fadada a obter no máximo classificação B.

Os dados obtidos e utilizados para o cálculo da etiqueta parcial podem ser observados no Apêndice B.

4.4 SISTEMA DE ENVOLTÓRIA

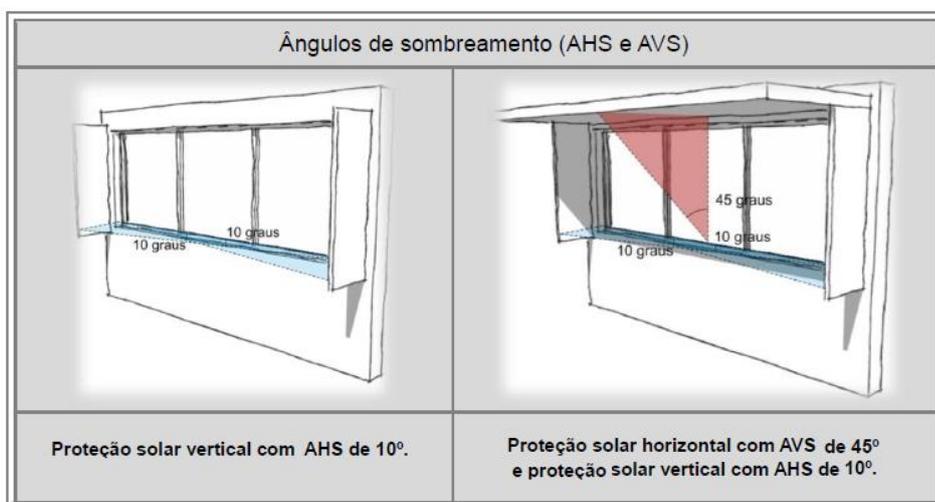
Para o levantamento da área interna do edifício utilizou-se os dados coletados pelo LAPER, ao final de 2014. Já as informações externas ao edifício foram obtidas no contexto deste trabalho. Para isso utilizou-se uma trena digital.

No que tange as medições das áreas de aberturas, não foram consideradas as estruturas que providenciam suporte para os vidros, pois trabalhar com este nível de detalhe seria extremamente trabalhoso.

Outro ponto de destaque cabe à área de circulação presente entre o Laboratório de Automação da Manufatura (LAMAM) e o Núcleo de Processamento de Energia Elétrica, pois o RTQ-C não apresenta nenhuma definição para aquela área em específico, uma vez que, apesar de ser um ambiente de circulação, esta não possui todas as laterais fechadas, assim optou-se por considerá-las como aberturas com fator solar (FS) unitário.

Para o cálculo do ângulo vertical de sombreamento (AVS) considerou-se apenas o toldo presente na porta de entrada do hall do DEE. Assim o AVS da edificação foi de $9,83^\circ$. Já a avaliação do ângulo horizontal de sombreamento não foi necessária, visto que nenhuma das aberturas do edifício possui obstrução horizontal para a incidência dos raios solares. A definição desses conceitos pode ser observada na Figura 24.

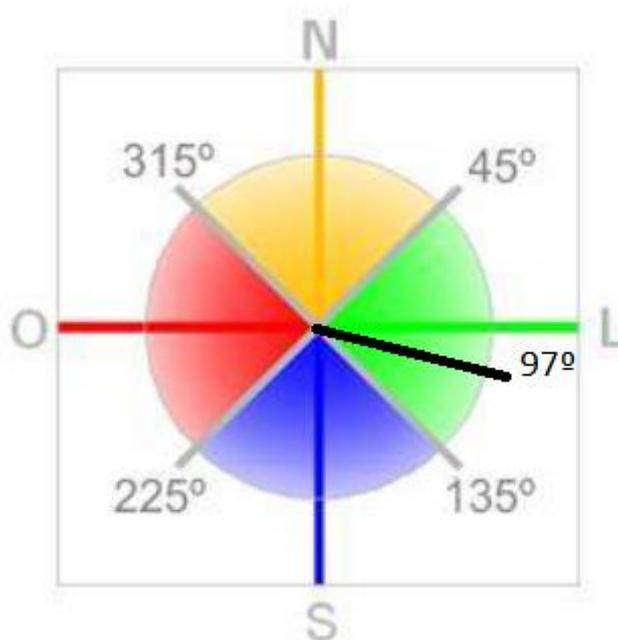
Figura 24 – Ângulos de Sombreamentos AHS e AVS



Fonte: INMETRO, Adaptado de Manual de Aplicação do RTQ-C, 2015

A orientação solar do edifício foi determinada com o auxílio de uma bússola digital integrada ao smartphone *iPhone 4s*, a qual mediu 97° . Assim de acordo com a Figura 25, extraída do Manual de Aplicação do RTQ-C, a posição solar do bloco E é Leste. Essa informação é importante uma vez que influencia na irradiação solar que há nas aberturas.

Figura 25 – Referência para determinação da orientação solar do edifício



Fonte: INMETRO, Manual de Aplicação do RTQ-C, 2015, pág 40

Analisando-se o percentual de aberturas das fachadas oeste (PAF_O) e das fachadas totais (PAF_T), observou-se que o primeiro representa 14,84%, enquanto o segundo 20,45%, mostrando que a edificação não possui um percentual de aberturas da fachada oeste 20% maior que nas fachadas totais justificando a utilização do PAF_O no cálculo da determinação da EE.

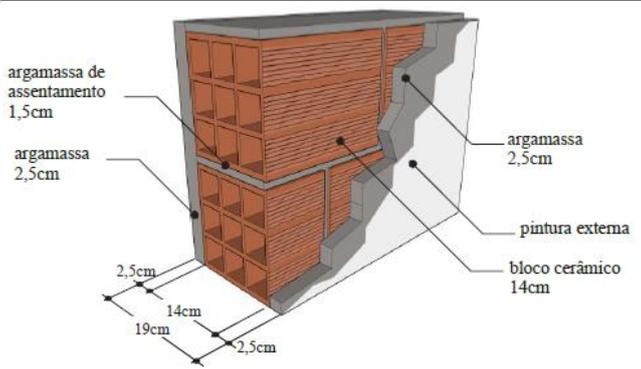
Para o FS geral da edificação é preciso, primeiramente, descobrir qual a especificação dos vidros utilizados nas aberturas. Assim, de forma empírica, encontrou-se através do Anexo V do Manual de Aplicação do RTQ-C, as propriedades para um vidro incolor com espessura de 6mm. Para fins de cálculo, adotou-se o mesmo vidro para todas as aberturas. Salienta-se, ainda, que no momento da avaliação do edifício não estava instalado o brize na abertura da escada do DEE.

O sistema de envoltória é aquele que apresenta mais pré-requisitos para obtenção do nível A de eficiência. São necessárias as análises para a Transmitância Térmica da Cobertura (U_{COB}), Transmitância Térmica das Paredes (U_{PAR}), Absortância da Cobertura (α_{COB}), Absortância das Paredes (α_{PAR}) e Iluminação Zenital.

Em relação ao pré-requisito de iluminação zenital não há necessidade da consideração deste, uma vez que o edifício não possui nenhuma abertura que se enquadre nesta categoria.

Para análise da U_{COB} e da U_{PAR} se faz necessário ter conhecimento a respeito dos materiais empregados na construção do edifício. Assim para U_{PAR} foi medido a espessura das paredes, sendo esta de aproximadamente 20 cm, o que se enquadra na possibilidade de ter sido utilizado tijolos 9 furos, como pode ser observado na Figura 26. Com isso, adotou-se U_{PAR} igual a 1,85 W/m²K para todas as paredes.

Figura 26 – Representação de uma parede de tijolos 9 furos

	Descrição:	14						
	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th>C_T</th> </tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th> <th>[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,85</td> <td>161</td> </tr> </tbody> </table>	U	C_T	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]	1,85	161	
U	C_T							
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]							
1,85	161							

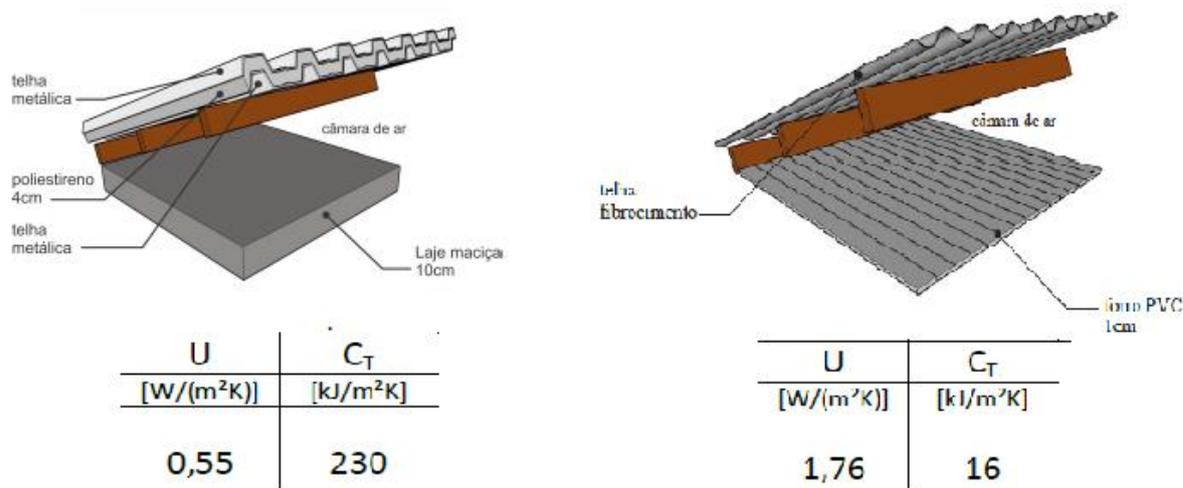
Fonte: INMETRO, Manual de Aplicação RTQ-C, 2015

Para U_{COB} é necessário fazer duas análises distintas, uma para a transmitância térmica da cobertura para ambientes condicionados e outra para os ambientes não condicionados. Para ambiente não condicionados o RTQ-C prevê a necessidade da comprovação do conforto térmico mediante testes de ventilação. Diante disso, a transmitância térmica da cobertura nos ambientes não-condicionados precisará atender aos níveis dispostos para os ambientes condicionados.

Para o telhado do edifício utiliza-se dois tipos de materiais, na maioria do edifício, e que constitui a parte mais antiga, são utilizadas telhas de fibrocimento de cor cimento, câmara de ar e forro de PVC, já na parte mais nova, onde estão localizadas as salas dos professores, são utilizadas telha metálica, poliestireno

(isopor), telha metálica, câmara de ar e forro de PVC. Ambas as configurações podem ser observadas na Figura 27.

Figura 27 – Configurações das coberturas do edifício



Fonte: INMETRO, Adaptado de Manual de Aplicação do RTQ-C, 2015

Relacionado ao pré-requisito de absorvância, o Anexo V do Manual de Aplicação do RTQ-C apresenta uma tabela de cores juntamente com o índice de absorvância de cada cor. Para as paredes azul do edifício adotou-se α_{PAR} de 0,733, já para as paredes mais claras foi atribuído α_{PAR} de 0,336.

A partir do Apêndice C é possível visualizar todas as informações mencionadas aqui e utilizadas para determinação da faixa de eficiência do sistema de envoltória.

4.5 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os dados colhidos durante a realização deste trabalho. Comentou-se, ainda, as considerações necessárias para a determinação da faixa de eficiência de cada sistema individualmente.

Nesta etapa do projeto encontrou-se os principais desafios e conseqüentemente, os principais aprendizados do trabalho, pois para o levantamento correto dos dados se fazia necessário o entendimento completo do RTQ-C, bem como, seu Manual de Aplicação.

5 RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Ao desenvolver um *software* a primeira preocupação necessária é em relação à confiabilidade do resultado obtido através da aplicação. Tendo isto em vista, é preciso realizar a validação dos resultados do *software*. Isto pode ser feito de forma manual ou, preferencialmente, através de uma plataforma difundida e respeitada pelos profissionais do ramo.

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dessa validação para os dados do edifício do bloco E, mostrando, assim, os resultados que esperam-se ser obtidos pelo *software* criado neste trabalho.

Foram testados os sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar separadamente e em conjunto para a obtenção da ENCE Geral.

5.2 SOFTWARE WEBPRESCRITIVO

O *software* encontrado para a validação deste trabalho foi o Webprescritivo (CB3E, 2015) desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da UFSC e disponível em endereço eletrônico. O LabEEE é um dos laboratórios mais respeitados nacionalmente, no que tange ao PBE Edifica, tendo inclusive, contribuído com o desenvolvimento de materiais que suportam o RTQ-C.

Este *software* é dedicado ao cálculo da EE de edificações, sendo o principal diferencial deste aplicativo é a sua disponibilidade *online* para qualquer usuário, sem a necessidade de login ou senha.

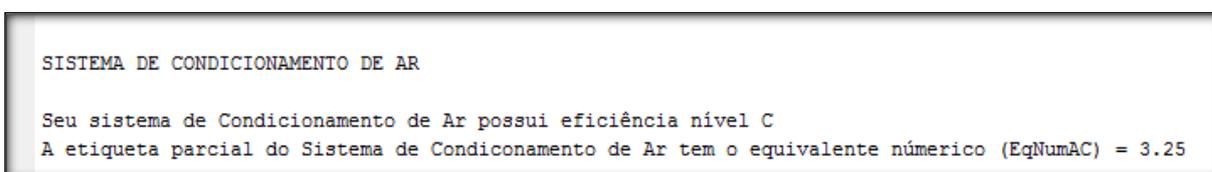
No fim do mês de outubro o Webprescritivo passou por uma atualização, tendo nessa versão a inclusão dos pré-requisitos gerais e específicos no cálculo da etiqueta, o que, até então, não era possível.

5.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Os dados utilizados nessa análise são aqueles apresentados no capítulo anterior e presentes no Apêndice B deste trabalho.

Com o *software* desenvolvido o resultado obtido para o sistema de condicionamento de ar foi nível C, como pode ser observado pela Figura 28. Como os pré-requisitos específicos desse sistema não se aplicam ao edifício estudado, a etiqueta parcial para o sistema de condicionamento de ar apresenta eficiência energética nível C.

Figura 28 - Etiqueta Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar via *software* desenvolvido neste TCC



Fonte: Próprio Autor

Utilizando os mesmos dados no Webprescritivo o resultado obtido foi o mesmo da Figura 29.

Figura 29 – Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Condicionamento de Ar via WebPrescritivo

Condicionamento do Ar

Pré-Requisitos Gerais

Possui isolamento de tubulações
 Não possui isolamento de tubulações

Condicionadores de ar etiquetados

	- Ambiente +	Nº. de Unidades	Tipo	Capacidade [BTU/h]	Eficiência [W/W]	Etiqueta
1	E01	- 1 +	split ▼	9000	3.1	B
54	E47	- 2 +	split ▼	12000	3.1	B
			janela ▼	10500	2.6	C

Calcular Eficiência Limpar

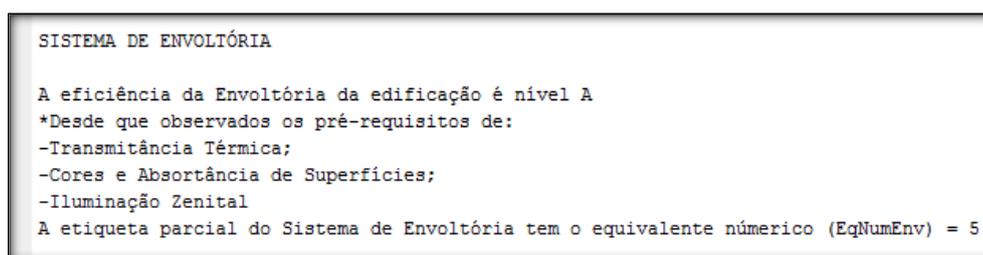
Fonte: Próprio Autor

Analisando os dados do Apêndice B o resultado mostra-se verdadeiro, pois grande parte dos aparelhos condicionadores de ar possuem eficiência C ou D, o que acarreta em uma etiqueta parcial mediana.

5.4 SISTEMA DE ENVOLTÓRIA

Para a análise da envoltória do edifício foram inseridos no *software* os dados previamente discutidos e que podem ser observados no Apêndice C . A Figura 30 traz o resultado obtido pelo *software* aqui apresentado, enquanto na Figura 31 são apresentados os resultados do WebPrescritivo.

Figura 30 - Etiqueta Parcial do Sistema de Envoltória via *software* desenvolvido neste TCC



Fonte: Próprio Autor

Figura 31 - Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Envoltória via WebPrescritivo

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática Cidade ?

Pré-requisitos

Dados Dimensionais da Edificação		Características das Aberturas	
A _{TOT}	2808.56 m ² ?	FS	0.58 ?
A _{PCOB}	1723.47 m ² ?	PAF _T	20.45 % ?
A _{PE}	1723.47 m ² ?	PAF _O	14.84 % ?
V _{TOT}	9151.96 m ³ ?	AVS	9.83 ° ?
A _{ENV}	4353.61 m ² ?	AHS	0 ° ?

* Desde que observados os pré-requisitos da envoltória para o nível de eficiência pretendido.

Calcular Eficiência Limpar

A ■ ■ ■ ■

Fonte: Próprio Autor

Contudo, o resultado obtido em ambos os *softwares* é relativo apenas a eficiência energética, sem levar em conta os pré-requisitos desse sistema. Quando esta análise é realizada, apenas o pré-requisito de iluminação zenital permite a etiqueta nível A.

Analisando-se a transmitância térmica da cobertura constata-se que esta, possui um índice de $1,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para ambientes condicionados e $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para os ambientes não-condicionados. Com estes índices a etiqueta poderia se enquadrar no máximo na faixa B de classificação, uma vez que para o nível A o valor máximo de U_{COB} é de $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, enquanto que para o nível B, este valor sobe para $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Assim, a etiqueta deste sistema, neste momento, passa a ser B.

Para a transmitância térmica das paredes o valor máximo do nível B de eficiência é $3,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, o qual a edificação atende com sobras, uma vez que seu índice é de $1,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

O quesito de cores e absorvância de superfícies exige que o α_{PAR} seja menor ou igual a 0,5 para obtenção do nível A. Já para o α_{COB} , o valor é o mesmo, porém este é exigido tanto no nível A quanto no B. Devido à grande predominância de telhas de fibrocimento na cobertura do edifício, o α_{COB} acaba apresentando o valor de 0,755, valor maior do que estipulado no RTQ-C, de $\alpha_{\text{COB}}=0,5$.

Assim, a maior classificação de etiqueta possível para o sistema de envoltória, obedecendo os pré-requisitos, é a de nível C, limitado pela absorvância da cobertura. Dessa forma, mesmo que a eficiência energética determinada pelo Índice de Consumo (IC) seja nível A, a etiqueta parcial do sistema é necessariamente nível C, como pode ser observado na Figura 32.

Figura 32 – Classificação do Nível de Eficiência da Envolvória Considerando-se os Pré-Requisitos Específicos do Sistema

Envolvória

Localização

Zona Bioclimática ZB 3 Cidade Água Branca AL

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	1.46 W/(m ² K)	Q_{COB}	75.5 %
$U_{COB-ANC}$	1.3 W/(m ² K)	CT_{PAR}	0 kJ/(m ² K)
U_{PAR}	1.85 W/(m ² K)	Q_{PAR}	52.1 %
PAZ	0 %	FS	0

Dados Dimensionais da Edificação		Características das Aberturas	
A_{TOT}	2808.56 m ²	FS	0.58
A_{PCOB}	1723.47 m ²	PAF_T	20.45 %
A_{PE}	1723.47 m ²	PAF_O	14.84 %
V_{TOT}	9151.96 m ³	AVS	9.83 °
A_{ENV}	4353.61 m ²	AHS	0 °

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela absorvância térmica da cobertura.

Calcular Eficiência Limpar

 C

Fonte: Próprio Autor

5.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

De posse dos dados do Apêndice A a simulação da etiqueta foi realizada em ambos os *softwares*, porém neste sistema os resultados foram divergentes, como ilustrado nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 - - Etiqueta Parcial do Sistema de Iluminação via *software* desenvolvido neste TCC

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Você escolheu o Método das Atividades do Edifício
Seu Sistema de Iluminação possui eficiência nível A
* Desde que observados os pré-requisitos de:
-Desligamento Automático do Sistema de Iluminação;
-Contribuição da Luz Natural;
-Divisão dos Circuitos
A etiqueta parcial do Sistema de Iluminação tem o equivalente numérico (EqNumDPI) = 5.00

Fonte: Próprio Autor

Figura 34 - Etiqueta Parcial Obtida para o Sistema de Iluminação Envoltória via WebPrescritivo

Iluminação

Por áreas do edifício Por atividades do edifício

	Atividade	Uso	Área [m ²]	Potência [W]	Limite do Ambiente		
1	Banheiros	Banheiros	9.17	80	<input type="checkbox"/> K	<input checked="" type="checkbox"/> RCR	7.11 ↑
2	Banheiros	Banheiros	14.56	80	<input type="checkbox"/> K	<input checked="" type="checkbox"/> RCR	5.85 ↑
73	Laboratórios	Médico/Ind./Pesq.	52.77	720	<input type="checkbox"/> K	<input checked="" type="checkbox"/> RCR	2.88 ↑
74	Laboratórios	Médico/Ind./Pesq.	19.53	320	<input type="checkbox"/> K	<input checked="" type="checkbox"/> RCR	5.24 ↑

Calcular Eficiência Limpar

 C

* Desde que observados os pré-requisitos de divisão dos circuitos

Fonte: Próprio Autor

Em simulações realizadas anteriormente os dois resultados eram idênticos, o que levantou suspeitas à respeito da confiabilidade do resultado do WebPrescritivo, uma vez que há de se observar que o aplicativo passou por uma atualização recente. Tentou-se diversas vezes o contato com os idealizadores do *software*, porém sem sucesso.

Com intuito de encontrar em qual software estava a falha, recorreu-se ao RTQ-C e ao seu Manual de Aplicação (INMETRO, 2015). Para tanto, se utilizou dos dados do Exemplo 4.5 do Anexo A para a verificação do funcionamento dos *softwares*, o resultado obtido via WebPrescritivo foi eficiência nível B, como ilustrado na Figura 35, enquanto o Manual de Aplicação e o *software* deste trabalho apontam o nível A como correto, conforme a Figura 36.

Dessa forma, constatou-se que o resultado obtido pelo *software* desenvolvido no âmbito deste trabalho de conclusão de curso, apresenta os resultados corretos para o sistema de iluminação, baseado nos procedimentos adotados no RTQ-C, enquanto o WebPrescritivo falha neste sistema.

Figura 35 – Resultado obtido no Webprescritivo para o exemplo 4.5 do Manual de Aplicação do RTQ-C

Iluminação

Por áreas do edifício Por atividades do edifício

	Atividade	Uso	Área [m ²]	Potência [W]
1	Escritório	Escritório	70	1020
2	Escritório – Planta livre	Escritório – Planta livre	100	1020
3	Circulação	Circulação	45	120
4	Sala de espera. convivé	Sala de espera. convivência	12	80

Calcular Eficiência Limpar

B

* Desde que observados os pré-requisitos de contribuição da luz natural e divisão dos circuitos

Fonte: Próprio Autor

Figura 36 - Resultado obtido no *software* desenvolvido para o exemplo 4.5 do Manual de Aplicação do RTQ-C

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Você escolheu o Método das Atividades do Edifício
Seu Sistema de Iluminação possui eficiência nível A

* Desde que observados os pré-requisitos de:

- Desligamento Automático do Sistema de Iluminação;
- Contribuição da Luz Natural;
- Divisão dos Circuitos

A etiqueta parcial do Sistema de Iluminação tem o equivalente numérico (EqNumDPI) = 5.00

Fonte: Próprio Autor

5.6 ENCE GERAL

Para o cálculo da etiqueta geral da edificação são utilizados os resultados obtidos em cada sistema individualmente. Assim, com o resultado do Webprescritivo tendo sido incorreto para o sistema de iluminação, conseqüentemente, o resultado da etiqueta final será, também, incorreta.

Todavia, os valores utilizados nos dois *softwares* foram idênticos o que acarreta nos mesmos valores de Área Condicionada (AC), Área Não Condicionada (ANC),

Área Útil (AU), Área de Permanência Transitória (APT) os quais são aplicados na fórmula da Pontuação Total (PT) como pode ser observado na Equação 1.

$$PT = 0,3 * \left\{ \left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + (0,30 * EqNumDPI) + 0,40 * \left\{ \left(EqNumCA * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (1)$$

A variável EqNumV é relativa aos ambientes de ventilação natural e que possuem conforto térmico comprovado via simulação, o que não se enquadra no objeto de estudo deste trabalho, assim considerou-se EqNumV unitário.

Os valores de AC, AU, APT e ANC são, respectivamente, 1618,63m², 2136m², 316,58m² e 200,79m². Os valores de EqNumEnv, EqNumDPI e EqNumCA foram obtidos anteriormente, tendo valores de 3, 5 e 3,75, respectivamente. É facilmente observável que a PT seria de 3,75, ou equivalente a classificação B. Contudo, o *software* deste trabalho não considera os pré-requisitos dos sistemas e, por isso, o resultado obtido para a ENCE geral foi de 4,21, equivalente ao nível B, ou seja, com os pré-requisitos sendo considerados o resultado da etiqueta aproxima-se mais do nível C do que do nível A.

5.7 RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo apresentar a comprovação da eficácia do *software* desenvolvido neste trabalho, através da comparação dos seus resultados com a plataforma Webprescritivo (CB3E, 2015), disponível na *web* e desenvolvida pelo LabEEE da UFSC.

Verificou-se que o *software* apresenta os resultados conforme indica o RTQ-C e o seu Manual de Aplicação, ao mesmo tempo em que descobriu-se que o Webprescritivo apresenta falhas no cálculo da etiqueta do sistema de iluminação.

O nível de eficiência energética encontrado para o sistema de envoltória foi limitado pelo pré-requisito de absorvância e cores da cobertura, o que resultou em uma etiqueta de nível C. Já o sistema de condicionamento de ar teve sua eficiência avaliada como nível C, mesmo atendendo os pré-requisitos do sistema. O melhor desempenho da edificação foi alcançado pelo sistema de iluminação, o qual atendeu

todos os pré-requisitos e obteve etiqueta nível A. A edificação como um todo recebeu a etiqueta de eficiência nível B, com PT=3,75.

6 ANÁLISE DE CENÁRIOS

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se, com os resultados obtidos anteriormente, explorar possíveis soluções para a melhoria da eficiência energética do edifício analisado. Sabe-se que os sistemas de envoltória e condicionamento de ar obtiveram nível C de eficiência possibilitando que ações corretivas possam ser tomadas.

Os cenários aqui propostos se basearão na realidade financeira vivida pela instituição, ou seja, serão propostas cabíveis de implementação.

6.2 CENÁRIO A – SISTEMA DE ENVOLTÓRIA

Como comentado na seção anterior, o sistema de envoltória teve a sua etiqueta limitada pelo pré-requisito da absorvância e cores da cobertura, que estabelece que as cores utilizadas nas coberturas de edificações presentes nas ZBs de 2 a 8 devem possuir $\alpha \leq 0,5$ do espectro solar, o que não é atendido pelas telhas de fibrocimento presentes na edificação e que possuem $\alpha = 0,745$.

Dessa forma, a primeira solução possível para a melhoria da EE da envoltória seria a pintura das telhas de fibrocimento por uma cor com coeficiente α mais baixo, como por exemplo, marfim que possui um α associado de 0,336, atendendo, assim, à norma.

Essa alternativa mostra-se viável uma vez que a mesma medida foi adotada nos blocos B e D da universidade anos atrás, onde os blocos citados receberam a pintura de seus telhados na cor azul, porém de acordo com o Anexo V do Manual de Aplicação do RTQ-C a escolha da cor não foi a ideal, já que o α associado a esta tonalidade é de 0,733, o que limitaria a etiqueta desses blocos a nível C, também.

Para a efetivação da proposta seria necessário a pintura de 1.181,98 m² de cobertura, de acordo com Suvinil (2015), seriam necessários 7 galões de tinta específica para telhas de fibrocimento, os quais custam R\$247,46, a unidade, segundo Balaroti (2015) Assim, o custo para implementação da solução seria de R\$1.732,22, mais mão-de-obra.

Contudo, a adoção desta solução não acarretaria em uma eficiência energética nível A para o sistema, pois o pré-requisito da transmitância térmica da cobertura

indica eficiência térmica nível B. Como a transmitância térmica da cobertura é avaliada segundo os aspectos construtivos dela, seria necessário a troca completa de todo o telhado.

6.3 CENÁRIO B – SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Como observado no capítulo 5, a eficiência do sistema de condicionamento de ar é apenas nível C. Diferentemente da envoltória, o pré-requisito específico é atendido, ou seja, quaisquer modificações propostas nos condicionadores de ar do edifício surtirão efeito imediato na etiqueta do sistema.

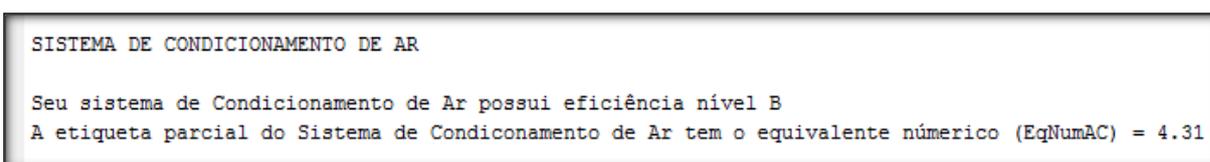
Para o Cenário B foi delimitado um teto de investimento de R\$60.000,00 para a troca dos equipamentos menos eficientes da edificação, acreditando-se que com isso a etiqueta seria mais eficiente, já que este sistema impacta em 40% na PT.

A Tabela 2 traz os aparelhos condicionadores de ar que seriam substituídos com o investimento mencionado. Salieta-se que os equipamentos mencionados são, em sua maioria, aparelhos antigos e que não oferecem opções como *inverter* para climas mais amenos.

De acordo com a Figura 37, constata-se que tal proposição seria correta, uma vez que a etiqueta que anteriormente era nível C, teve uma melhora para nível B, com seus EqNumCa igual a 4,31. Com essa alteração a PT da edificação aumenta para 4,07, permanecendo em nível B, mas mais próximo do nível A.

Mesmo com a melhora da ENCE geral da edificação não é possível quantizar o quanto isso acarretaria na redução de consumo de energia do prédio, o que dificulta avaliar o tempo de retorno deste investimento (*payback*).

Figura 37 - Etiqueta Parcial do Sistema de Condicionamento de Ar para o Cenário B



Fonte: Próprio Autor

Tabela 2 – Condicionadores de Ar substituídos no Cenário B

Sala	Eficiência Atual	Eficiência Nova	Valor
E03	D	A	R\$4.099,00
E03	D	A	R\$4.099,00
E03	D	A	R\$4.099,00
E04	D	A	R\$4.099,00
E08	D	A	R\$4.099,00
E08	D	A	R\$4.099,00
E11	C	A	R\$1.199,00
E12	C	A	R\$1.506,00
E20	C	A	R\$1.199,00
E21	C	A	R\$1.506,00
E22	C	A	R\$1.199,00
E23	C	A	R\$1.199,00
E25	C	A	R\$1.199,00
E27	C	A	R\$4.099,00
E33	C	A	R\$4.099,00
E34b	D	A	R\$4.099,00
E35	C	A	R\$4.099,00
E37	D	A	R\$4.099,00
E45	C	B	R\$6.789,00

Fonte: Próprio Autor

6.4 RESUMO DO CAPÍTULO

A partir da situação atual da edificação foram propostos dois cenários de melhoria, um propondo modificações na envoltória e outro no sistema de condicionamento de ar.

Para a envoltória, a proposição foi a pintura da cobertura da parte antiga da edificação no valor de R\$1.732,22, mais mão-de-obra, enquanto que para os condicionadores de ar foi proposto um teto de R\$60.000,00 investidos na substituição dos aparelhos mais antigos e ineficientes da edificação.

Constatou-se que com ambas as proposições a ENCE geral do permaneceria no nível B, todavia, a situação descrita no Cenário B teria impacto direto no contrato de energia, enquanto no Cenário A a redução do consumo seria indireta, uma vez que haveria uma troca de calor menos significativa entre o meio externo e o interno por meio da cobertura, e conseqüentemente uma menor utilização dos aparelhos condicionadores de ar.

7 TRABALHOS FUTUROS

7.1 INTRODUÇÃO

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos com este trabalho existem alguns pontos de melhoria que podem ser abordados em trabalhos futuros, seja em um trabalho de conclusão de curso, ou mesmo no âmbito de iniciação científica. Neste capítulo serão apresentadas algumas dessas opções.

7.2 ESTRUTURA DO SOFTWARE

A primeira possibilidade de melhoria encontra-se na utilização de outra plataforma para o desenvolvimento do programa. Neste trabalho o *software* foi implementado utilizando-se duas plataformas já existentes, o *EXCEL®* e o *MATLAB®*. Vislumbra-se que para uma melhor utilização, o *software* possa ser utilizado apenas como um arquivo executável, ou seja, sem que haja a necessidade de que o usuário possua dois *softwares* em seu computador para o funcionamento da aplicação.

Como sugestão de linguagem de programação pode ser citada o uso do C#, pois permite, de forma prática, a criação de guias de interface com o usuário (GUI), desvinculando, assim, o programa de outros *softwares*.

Além da interface que apresenta infinitas possibilidades, a utilização do C# permitiria que os resultados fossem visualizados de forma mais intuitiva do que atualmente, utilizando, por exemplo, as imagens das etiquetas para exibir a classificação energética da ENCE parcial ou geral.

7.3 CÁLCULO DOS PRÉ-REQUISITOS

Com a utilização do *software* para diagnosticar a situação da EE do bloco E da UDESC CCT foi visualizada a necessidade da implantação do cálculo dos pré-requisitos de cada sistema.

Da mesma forma que o WebPrescritivo passou por uma atualização para, justamente, incluir em sua plataforma de cálculo os pré-requisitos, vislumbra-se que após a mudança do *software* para outra linguagem de programação este seria o próximo passo em direção a automatizar, ainda mais, o processo de cálculo.

7.4 ENTRADA DE DADOS

Outra proposição válida é a diminuição da quantidade de dados a serem inseridos no algoritmo. Propõe-se que sejam inseridos no *software* apenas os dados essenciais de cada ambiente, e que o algoritmo seja capaz de encontrar, a partir destes as informações derivadas, como por exemplo encontrar o valor de AC sem a necessidade de que o usuário a declare.

Essa modificação traria mais praticidade ao *software*, tirando a responsabilidade de cálculo do ser humano e passando-a para o algoritmo, acarretando maior confiabilidade e agilidade ao resultado.

7.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR AMBIENTE

De forma a possibilitar uma avaliação mais precisa e minuciosa da edificação, sugere-se a implementação de uma função que possibilite a análise da EE de cada ambiente.

Tal medida seria capaz de fornecer ao usuário dados individuais de cada sistema e para cada ambiente, o que permitiria a adoção de medidas pontuais para a melhoria da edificação como um todo, com uma avaliação mais precisa da mesma.

7.6 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram destacadas algumas melhorias passíveis de implementação no *software* deste TCC. Constatou-se que a utilização de dois *softwares* para o cálculo da etiqueta não foi a melhor estratégia adotada, apesar do seu comprovado funcionamento.

Para a avaliação mais automatizada do processo é necessário inserir na plataforma de cálculo os pré-requisitos, sendo que para um melhor mapeamento dos ambientes ineficientes sugeriu-se que cada um deles tivesse a sua EE calculada, permitindo que usuário faça alterações pontuais no edifício.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, a proposta deste trabalho visava apenas obter a ENCE geral da edificação, todavia notou-se que apenas determinar a eficiência energética do bloco E seria uma contribuição pequena se comparado ao que poderia ser realizado neste TCC. Assim, concluiu-se que automatizar o processo de cálculo da ENCE seria mais relevante, uma vez que possibilitaria a avaliação de mais edificações e de forma mais dinâmica.

Outro ponto a se destacar é que com o desenvolvimento deste *software* é possível simular diferentes cenários para diferentes estratégias de melhoria de EE, como demonstrado no capítulo 6, deste relatório.

Para que o *software* fosse idealizado foi preciso uma revisão bibliográfica profunda dos materiais que dispõem sobre as informações a respeito de eficiência energética em edificações, estes confeccionados no âmbito do programa brasileiro de etiquetagem (PBE). Os principais referenciais para este processo foram o Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Manual de Aplicação do RTQ-C.

Com o *software* finalizado observou-se que a estratégica utilizada, de implementar o algoritmo no MATLAB®, tendo como entrada de dados as planilhas do EXCEL®, não foi a mais apropriada. Pois além da necessidade de possuir ambos os programas instalados no computador, existe o risco de que o usuário desconfigure a formatação das planilhas do EXCEL®, o que colocaria em risco o funcionamento adequado do algoritmo. Como proposição, sugere-se migrar para a linguagem de programação C#, a qual pode ser executada na maioria dos computadores, além de possuir recursos visuais mais desenvolvidos.

A exibição dos resultados da EE de cada sistema e da ENCE geral, apesar de correto, traz a informação de uma forma pouco visual, já que as opções gráficas presentes no MATLAB® são limitadas.

Analisando o projeto proposto, sua execução e os resultados obtidos, concluiu-se que este trabalho terá uma contribuição significativa para a melhoria da EE das edificações da UDESC Joinville, quando for aplicado a todos os prédios do centro. Espera-se, ainda, que este trabalho possa despertar no departamento de engenharia elétrica a consciência de que equipamentos mais eficientes são, hoje, atitudes necessárias e não apenas uma opção.

REFERÊNCIAS

BETTS, G. S. **PROCEL Edifica como Referencial para Intervenção na Envolvória de Edifício Existente: O Caso do Edifício Delta**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Arquitetura, Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul. 2011.

BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da Eficiência Energética de Hotéis de Quatro Estrelas em Florianópolis: Aplicação do Programa de Etiquetagem de Edificações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência Energética e Conservação de Energia**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 12 maio 2015.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 julho 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética ... **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executiva, Brasília, DF, 24 de julho de 2000.

BRASIL. Lei nº 11.465 de 28 março 2007. Altera os incisos I e III do caput do art. 1o da Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000,... **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executiva, Brasília, DF, 29 de março de 2007.

BRASIL. Lei nº 10.295 de 17 outubro 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executiva, Brasília, DF, 17 de outubro de 2001.

BRASIL. Decreto de 8 de dezembro. Dispõe sobre a criação do Selo Verde de eficiência energética. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executiva, Brasília, DF, 19 de dezembro de 2001.

BRASIL. Decreto nº 4.059, 19 dezembro 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executiva, Brasília, DF, 19 de dezembro de 2001.8
BRASIL.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. 2011.

CELESC. **Eficiência Energética e a Nova Regulamentação do PEE ANEEL**. I Workshop PEE Celesc. Florianópolis. 2014. p. 43.

DE SOUZA JUNIOR, P. R.; HENRIQUES, M. E. **Estudo e Regulamentação da Etiquetagem Energética para Edifícios Comerciais e Públicos: Um Estudo de Caso no Edifício de Engenharia Elétrica da UFPR**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação no Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica, UFPR. UFPR. Curitiba. 2009.

DIAS, D. D. S.; DA SILVA, P. F. G. **Estudo de Viabilidade da Aplicação do Programa PROCEL Edifica em Edifícios Comerciais já Existentes: Estudo de Caso em um Edifício Comercial de Curitiba**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica, UFPR. Curitiba. 2010.

ELETROBRAS. **História da Eletrobras**. Disponível em:

<http://www.eletrobras.com.br/Em_Biblioteca_40anos/interno_96-02.asp?id=6&descricao=Blecaute%20na%20cidade%20do%20Rio%20de%20Janeiro,%20durante%20a%20vig%EAncia%20do%20programa%20de%20acionamento,%20em%20virtude%20de%20falha%20na%20rede%20de%20440%20kV%20>.

Acesso em: 13 maio 2015.

ELETROBRAS/PROCEL EDIFICA, INMETRO, CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. UFSC. Rio de Janeiro, p.12. 2013.

ELETROBRAS. **Resultados PROCEL 2014 - Ano Base 2013**. ELETROBRAS. p. 63. 2014.

ELETROBRAS. PROCEL. **ELETROBRAS**. Disponível em:

<<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em: 13 maio 2015.

EPE. **Balço Energético Nacional 2014: Relatório Síntese - Ano Base 2013**. Rio de Janeiro. 2014. 54 p.

INMETRO. ANEXO A4 - MANUAL DE ENTENDIMENTO DA ENCE DE EDIFICAÇÕES. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos**. 2010.

INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2013.

INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2010.

INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C e do RAC-C**. 2015. 3ª ed.

ONS. **Operador Nacional do Sistema**. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx>. Acesso em: 12 maio 2015.

SILVA, F. E. F. **Determinação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória do Prêdo da Central de Aulas - UEPB**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação no Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica, UEPB. Campina Grande. 2014.

SOTOPIETRA, B. **Eficiência Energética de Edificações - Aplicação da Etiquetagem PROCEL Edifica em uma Edificação Residencial de Joinville**.

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil, UDESC. Joinville. 2012.

TOLEDO, M. **Folha de São Paulo**, 12 mar. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/03/1601604-nivel-dos-reservatorios-de-usinas-hidreletricas-ainda-preocupa.shtml>>. Acesso em: 5 maio 2015.

WEG. **Indústria+Eficiente**. CELESC. Jaraguá do Sul, p. 56. 2014.

APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Tabela 3 – Dados do Sistema de Iluminação

Ambiente	Área (m²)	Potência Total (W)	RCR	Método das Atividades
Banheiro Fem 2º Andar	9,17	80	7,11	Banheiro
Banheiro Masc 2º Andar	14,56	80	5,85	Banheiro
Corredor 2º Andar	64,68	480	5,42	Circulação
Hall Banheiros 2º Andar	15,36	80	5,60	Hall de Entrada
Hall segundo andar	21,10	240	5,16	Hall de Entrada
Copa	5,92	80	8,88	Cozinhas
Sala E 09	43,86	800	3,26	Pesquisa
Sala E 10	25,13	400	4,56	Escritório
Sala E 11	25,38	400	4,54	Escritório
Sala E 12	38,21	720	3,61	Pesquisa
Sala E 13	28,68	640	4,05	Escritório
Sala E 14	47,00	480	3,32	Escritório
Sala E 15	22,84	480	4,50	Escritório
Sala E 16	17,31	240	5,24	Escritório
Sala E 17	16,64	240	5,35	Escritório
Sala E 18	22,79	480	4,51	Escritório
Sala E 19	22,69	480	4,51	Escritório
Sala E 20	22,65	480	4,52	Escritório
Sala E 21	30,64	160	3,67	Escritório
Sala E 22	23,70	320	4,75	Escritório
Sala E 23	26,71	320	4,38	Escritório
Sala E 25	13,23	240	6,18	Escritório
Banheiro Fem 1º Andar	9,26	80	7,83	Banheiro
Banheiro Masc 1º Andar	14,54	200	6,48	Banheiro
Corredor	45,81	320	4,76	Circulação
Hall DEE	76,32	480	3,05	Hall de Entrada
Hall E 03	17,43	80	5,88	Hall de Entrada
Sala E 01	11,45	240	7,48	Escritório
Sala E 02	12,10	240	7,21	Escritório
Sala E 03	130,06	1280	2,09	Auditório
Sala E 04	31,88	480	4,22	Lab/Sala de Aula
Sala E 05	48,75	560	3,46	Lab/Sala de Aula
Sala E 06	41,09	720	3,73	Lab/Sala de Aula
Sala E 07	10,50	240	7,37	Pesquisa
Escadas	24,77	180	12,96	Escadas
Sala E 08	59,64	960	3,30	Pesquisa
Sala E 26	18,85	160	5,26	Depósito
Sala E 27	34,90	320	3,52	Pesquisa
Sala E 28	18,70	160	5,27	Pesquisa
Sala E 29	34,90	320	3,52	Pesquisa
Sala E 30	36,68	400	3,34	Pesquisa
Sala E 45	73,85	560	2,44	Pesquisa
Sala E 46	17,71	160	5,57	Escritório
Sala E47	49,14	480	2,92	Pesquisa
Copa nPEE	10,16	160	6,48	Cozinhas

Ambiente	Área (m²)	Potência Total (W)	RCR	Método das Atividades
Corredor NPEE/LAMAN	37,87	120	5,24	Hall de Entrada
Corredor Prof. nPEE	10,25	240	14,62	Circulação
Sala de estudos nPEE	59,22	640	3,57	Escritório PL
Sala de prototipagem	13,08	240	5,99	Oficina Mecânica
Sala de reuniões nPEE	5,22	80	11,57	Escritório
Sala E 40	22,82	160	4,31	Escritório
Sala E 41	33,80	560	4,76	Pesquisa
Sala E 42	34,30	640	3,65	Pesquisa
Sala E 43	35,04	560	3,62	Pesquisa
Sala E 44A	12,57	160	7,65	Escritório
Sala E 44B	12,93	160	7,51	Escritório
Sala E 44C	11,59	160	8,05	Escritório
Secretaria	4,76	80	12,05	Escritório
Corredor entre E31/E33	14,79	160	10,17	Circulação
Corredor LAMAN	22,00	120	7,35	Circulação
Hall GERM	5,76	40	8,71	Circulação
Sala E 31	21,02	480	6,03	Sala de Aula
Sala E 32	42,88	960	4,30	Sala de Aula
Sala E 33	34,81	720	4,66	Sala de Aula
Sala E 34A	110,78	1600	2,64	Pesquisa
Sala E 34B	19,75	400	6,39	Pesquisa
Sala E 34C	5,66	160	11,69	Escritório PL
Sala E 35	38,16	720	4,47	Sala de Aula
Sala E 36A	12,45	240	5,95	Oficina Mecânica
Sala E 36A	10,77	60	6,97	Oficina Mecânica
Sala E 36B	18,47	320	4,87	Sala de Aula
Sala E 37	25,83	400	4,32	Pesquisa
Sala E 38	52,77	720	2,88	Escritório PL
Sala E 39	19,53	320	5,24	Pesquisa

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE B – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Tabela 4 – Relação dos condicionadores de ar por sala

Sala	Área (m ²)	Potência (BTU)	Eficiência (A, B,...)
E-01	11,45	9000	B
E-02	12,10	9000	B
E-03	130,06	30000	D
E-03	130,06	30000	D
E-03	130,06	30000	D
E-04	31,88	24000	D
E-05	48,75	30000	D
E-06	41,09	18000	B
E-07	10,50	9000	B
E-08	59,64	30000	D
E-08	59,64	30000	D
E-09	43,86	24000	D
E-10	25,13	12000	C
E-11	25,38	12000	C
E-12	38,21	12000	A
E-12	38,21	18000	C
E-13	8,1	12000	B
E-14	31,81	18000	B
E-14 (Reunião)	9,53	12000	A
E-15	22,84	12000	B
E-16	17,31	12000	A
E-17	16,64	12000	A
E-18	22,79	12000	C
E-19	22,69	12000	B
E-20	22,65	12000	C
E-21	30,64	18000	C
E-22	23,70	12000	C
E-23	26,71	12000	C
E-25	13,26	12000	C
E-27	34,90	30000	C
E-28	18,70	12000	B
E-29	34,90	36000	C
E-30	36,68	21000	B
E-31	21,02	12000	B

Sala	Área (m ²)	Potência (BTU)	Eficiência (A, B,...)
E-32	42,88	24000	C
E-33	34,81	30000	C
E-34a	110,78	56000	B
E-34a	110,78	18000	B
E-34b	19,75	30000	D
E-34c	5,66	12000	B
E-35	38,16	30000	C
E-36a	10,77	12300	B
E-36b	12,45	18000	C
E-37	25,83	30000	D
E-38	52,77	24000	C
E-38	52,77	18000	B
E-39	19,62	10000	C
E-40	33,26	12000	A
E-40	33,26	12000	B
E-41	33,69	12000	B
E-41	33,69	12000	A
E-41	33,69	9000	A
E-42a Meio	28,412	9000	A
E-42b Fundo	28,71	12000	B
E-42b Fundo	28,71	12000	A
E-43a Laboratório de Protótipos	32,065	9000	A
E-43b - Prototipagem	13,08	12000	C
E-44a	12,57	9000	B
E-44b	12,93	9000	B
E-44c	11,59	9000	B
E-44d (Sala de Reunião)	5,22	9000	B
E-45	73,85	48000	C
E-46	17,71	9000	B
E-47	49,14	12000	B
E-47	49,14	10500	C
Área Condicionada	1618,63		

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ENVOLTÓRIA

Tabela 5 – Área das fachadas por orientação solar

Área Total das Fachadas							
Fachada Norte		Fachada Sul		Fachada Leste		Fachada Oeste	
Segmento	Área (m ²)	Segmento	Área (m ²)	Segmento	Área (m ²)	Segmento	Área (m ²)
Seg AZ	124,70	Seg BC	45,75	Seg AB	304,44	Seg ZW	25,80
Seg WY	96,60	Seg DE	74,82	Seg CD	27,86	Seg FE	25,80
Seg XX'	0,00	Seg FG	72,45	Seg A'Y'	4,42	Seg H'G'	25,53
Seg X'V	48,76	Seg HI	64,40	Seg Y'B'	30,36	Seg D'C'	18,40
Seg UT	65,47	Seg JK	65,29	Seg XY	0,00	Seg F'E'	50,40
Seg G'F'	42,42	Seg PQ	14,09	Seg GH	10,35	Seg VU	13,80
Seg C'B'	72,66	Seg O'O	47,06	Seg OP	4,01	Seg NO'	5,98
Seg ML	65,29	Seg OR	16,75			Seg M'N	2,73
		Seg RS	18,95			Seg MM'	51,52
		Seg D'E'	42,42			Seg JI	13,80
		Seg H'A'	96,88			Seg ST	34,96
						Seg LK	23,56
						Seg ZE	336,17
						Seg RQ	4,01
Total	515,90	Total	558,86	Total	381,45	Total	632,46

Fonte: Próprio Autor

Tabela 6 – Área das aberturas das fachadas por orientação solar

Área das Aberturas das Fachadas							
Fachada Norte		Fachada Sul		Fachada Leste		Fachada Oeste	
Seg AZ	9,00	Seg BC	0,00	Seg AB	125,72	Seg ZW	0,00
Seg WY	15,36	Seg DE	4,00	Seg CD	0,00	Seg FE	0,00
Seg XX'	11,56	Seg FG	28,80	Seg A'Y'	8,84	Seg H'G'	3,90
Seg X'V	8,10	Seg HI	18,45	Seg Y'B'	6,72	Seg D'C'	3,90
Seg UT	28,80	Seg JK	27,60	Seg XY	10,20	Seg F'E'	37,74
Seg G'F'	0,00	Seg PQ	0,00	Seg GH	0,00	Seg VU	0,00
Seg C'B'	5,76	Seg O'O	2,34	Seg OP	0,00	Seg NO'	0,00
Seg ML	7,68	Seg OR	3,12			Seg M'N	5,46
		Seg RS	1,56			Seg MM'	3,84
		Seg D'E'	0,00			Seg JI	0,00
		Seg H'A'	9,60			Seg ZE	39,00
Total	86,26	Total	95,47	Total	151,48	Total	93,84

Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Dados para o AVS

	Ângulo	Janela
Leste	27,72	151,48
Oeste	0	93,84
Norte	0	86,26
Sul	0	95,47

Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Dados do vidro para o FS

Transmitância Térmica	5,7
Transmitância a Radiação	0,45
Absortância Solar	0,54
Resistência Superficial externa	0,04
FS	0,54

Fonte: Próprio Autor

Tabela 9 – Síntese dos dados da envoltória

PAFo	0,1484	FF	0,48
PAFt	0,2045	FA	0,61
Aenv	4353,61	AVS Total	9,83
Atot	2808,56	AHS Total	0
Vtot	9151,959	FS	0,58
Ape	1723,472	Apcob	1723,472

Fonte: Próprio Autor

ANEXO A – EXEMPLO DE CÁLCULO PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Figura 38 - Método da Área do Edifício

Exemplo 4.3

Determinar o nível de eficiência de um edifício de correio de 600m², tem sua área dividida em três setores: administração com 190 m², correio com 300m² e garagem com 110m². Na administração a potência instalada é de 1810 W, no setor destinado ao correios a potência é de 2900 W e no setor da garagem é de 300 W. As áreas de circulação, copa, banheiros e depósitos são computadas junto ao setor onde se encontram.

Tabela 4.4 Cálculo da potência limite para Exemplo 4.3

Função da edificação	DPI _L - Nível A (W/m ²)	DPI _L - Nível B (W/m ²)	DPI _L - Nível C (W/m ²)	DPI _L - Nível D (W/m ²)
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Escritório*	9,7	11,2	12,6	14,1
Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Área (m ²)	Potência limite - Nível A (W)	Potência limite - Nível B (W)	Potência limite - Nível C (W)	Potência limite - Nível D (W)
300,00	2820	3240	3660	4080
190,00	1843	2128	2394	2679
110,00	297	341	385	429
Total	4960	5709	6439	7188

* O setor da Administração foi computado como escritório, por ser a função exercida nesta área.

Para determinar a potência limite da edificação é necessário encontrar a potência limite de cada setor, e depois somá-las para determinar o limite para cada nível de eficiência,

Comparando a potência da edificação com os limites tem-se:

$$P = 1810 + 2900 + 300$$

$$P = 5110$$

$$4960 \text{ (nível A)} < 5110 < 5709 \text{ (nível B)}$$

O nível de eficiência encontrado para o edifício é **B**, com EqNumDPI igual a 4.

Figura 39 - Método das Atividades do Edifício

Exemplo 4.5

Determinar a eficiência do sistema de iluminação de um pavimento de um edifício que já possui a ENCE Parcial de Envoltória. Este pavimento é composto pelos seguintes ambientes:

Tabela 4.5 Lista de ambientes e carga instalada

Atividade	Potência do Conjunto (W)	Área (m ²)
Escritório A	480	30,0
Escritório B	240	15,0
Escritório C	300	25,0
Escritório - planta livre	1020	100,0
Circulação	120	45,0
Sala de Espera	82	12,0

Para determinar a eficiência desse conjunto de salas é necessário determinar qual a área e potência instalada para cada atividade, conforme Tabela 4.5 e determinar a potência limite do conjunto de salas, conforme a Tabela 4.6 e potência instalada por atividade de acordo com a Tabela 4.7.

Tabela 4.6 Área e potência instalada por atividade

Atividade	Potência do Conjunto (W)	Área (m ²)
Escritório (A+B+C)	1020	70
Escritório - planta livre	1020	100,0
Circulação	120	45,0
Sala de Espera	82	12,0
Total	2242	

Tabela 4.7 Lista de ambientes e carga instalada					
Atividade	Área	Potência Limite - Nível A	Potência Limite - Nível B	Potência Limite - Nível C	Potência Limite - Nível D
Escritório	70	833,00	999,60	1166,20	1332,80
Escritório - planta livre	100,0	1050,00	1260,00	1470,00	1680,00
Circulação	45,0	319,50	383,40	447,30	511,20
Sala de Espera	12,0	72,00	86,40	100,80	115,20
Total	227	2274,50	2729,40	3184,30	3639,20

Comparando a Potência total instalada com as potências limites tem-se:

2242,0 < 2274,5 (nível A)

O nível de eficiência encontrado para o correio é **A**, com **EqNumDPI igual a 5**.

Fonte: Manual RTQ-C, 2015

ANEXO B - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Exemplo 5.1

No seguinte exemplo, um ambiente é servido por três condicionadores de ar tipo split. Os equipamentos são regulamentados pelo INMETRO e as respectivas eficiências são mostradas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Exemplo de equivalentes numéricos de distintos sistemas

Unidade	Potência [Btu/h]	Eficiência da unidade	Equivalente numérico
1	7500	B	4
2	9000	C	3
3	12000	C	3

Para poder calcular a classificação deste ambiente é necessário ponderar as eficiências de cada unidade pela potência, da seguinte forma:

Soma da potência de cada unidade. No caso em questão:

$$7500 + 9000 + 12000 = 28500 \text{ Btu/h}$$

Divide-se a potência de cada unidade pela soma da potência das três unidades obtendo o coeficiente de ponderação de cada ambiente:

Tabela 5.5 Exemplo de ponderação por potência

Unidade	Potência [Btu/h]	Coeficiente de ponderação
1	7500	0,26
2	9000	0,32
3	12000	0,42
TOTAL	28500	1,00

Multiplica-se o coeficiente de ponderação de cada unidade pelo Equivalente numérico de eficiência:

Tabela 5.6 Exemplo de determinação de eficiência através ponderação por potência

Ambiente	Equivalente numérico	Coeficiente de ponderação	Resultado ponderado
1	4	0,26	1,04
2	3	0,32	0,96
3	3	0,42	1,26
TOTAL			3,26

O resultado ponderado é comparado na tabela de classificação e assim:

$$2,5 \leq 3,26 < 3,5$$

Assim, o nível de eficiência é **C**, com EqNumCA de 3,26.

Fonte: Manual RTQ-C, 2015