

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
MATHEUS FELIPE MOSER

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM EM
EDIFICAÇÕES NO CAMPUS MATO ALTO: Uma discussão entre a eficiência
energética e o conforto ambiental de seus usuários**

ARARANGUÁ
2019

MATHEUS FELIPE MOSER

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM EM
EDIFICAÇÕES NO CAMPUS MATO ALTO: Uma discussão entre a eficiência
energética e o conforto ambiental de seus usuários**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Professora Elise Sommer Watzko
Co-orientadora: Eng. Júlia Sborz

ARARANGUÁ
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Moser, Matheus Felipe
APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM EM
EDIFICAÇÕES NO CAMPUS MATO ALTO : Uma discussão entre a
eficiência energética e o conforto ambiental de seus
usuários / Matheus Felipe Moser ; orientador, Elise Sommer
Watzko, coorientador, Julia Sborz, .
94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, .

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Etiquetagem de Edificações.
3. Simulação Luminotécnica. 4. Conforto Visual. 5. Conforto
Ambiental. I. Watzko, Elise Sommer. II. Sborz, Julia. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Energia. IV. Título.

MATHEUS FELIPE MOSER

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM EM
EDIFICAÇÕES NA UNIDADE MATO ALTO: UMA DISCUSSÃO ENTRE
A AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O CONFORTO
AMBIENTAL DE SEUS USUÁRIOS**

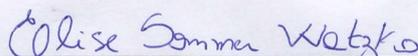
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Orientador(a): Profa. Dr. Elise Sommer
Watzko.

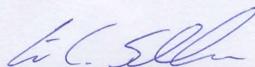
Coorientador(a): Eng. Julia Sborz

Araranguá, 01 de julho de 2019.

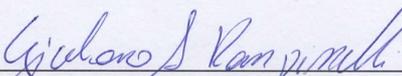
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elise Sommer Watzko (Orientadora)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. César Cataldo Scharlau
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu pai, Ângelo Mateus Moser, que me deu todo o suporte durante toda minha vida, e é a base de cada uma de minhas conquistas, como a de hoje, onde concluo minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente as pessoas da minha família que contribuíram ao longo dessa caminhada, como meu pai, minha mãe Gicelia João Moser, meu irmão Luís Ângelo Moser, minha avó Iracema Stassun, minha madrinha Rosimeri Stassun Silva e meu padrinho Edvilson Silva.

Agradeço a minha namorada, Leticia Satsuki Kikuchi, por ter feito parte de todo esse ciclo comigo, pelos vários momentos de ajuda, de paciência e de companheirismo.

Agradeço ao meu amigo Paulo Homero, por me mostrar que eu era capaz de concluir a universidade, e me passar ensinamentos que levarei para o resto da vida. Aos meus irmãos de coração Jeovane Martins, Fábio Nuernberg e Marcelo Ambroso dos Santos, agradeço pelos grandes momentos e pelas inúmeras histórias que vivemos neste período, e que levarei comigo para sempre.

Agradeço também a professora Elise Sommer Watzko por aceitar o desafio de me orientar e auxiliar nesse trabalho, e a minha coorientadora Júlia Sborz por ter me dado suporte nas questões técnicas e também na organização do meu trabalho.

Agradeço aos professores Paulo Esteves, Kátia Madruga e demais professores e pós-graduandos da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Araranguá, que contribuíram para a minha pesquisa relativa ao trabalho de conclusão de curso.

Por fim, agradeço a minha mãe, Lucimara Stassun, por ter me dado o dom da vida e ser o real motivo de eu estar aqui hoje.

RESUMO

Com a crescente demanda de energia no planeta, cada vez mais faz-se necessário disseminar o conceito de eficiência energética, de forma aplicada. Edificações Comerciais e Públicas são responsáveis por cerca de 43% do consumo de energia elétrica no Brasil, e mais de 55% em países desenvolvidos. Em paralelo, as atividades humanas precisam ser realizadas com cada vez maior qualidade e eficácia, e tais necessidades demandam boas condições ambientais para execução do trabalho. O presente estudo buscou avaliar a aplicabilidade do método prescritivo de etiquetagem de eficiência energética em edificações, e também verificar, através de simulação luminotécnica, se os ambientes acadêmicos da edificação oferecem conforto visual aos seus ocupantes, de forma com que possam realizar suas atividades nas salas de aula, em boas condições. O método de etiquetagem é apresentado pelo Regulamento Técnico de Qualidade de Eficiência em Edificações Comerciais, de Serviços, e Públicas (RTQ-C), e a edificação utilizada para o estudo de caso foi o *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Araranguá, no bairro Mato Alto. Os resultados apontaram algumas limitações bastante significativas na aplicação da metodologia prescritiva do RTQ-C, principalmente na avaliação dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. A edificação foi avaliada em nível C de eficiência, porém com um bom potencial de alcançar o nível B. No que diz respeito ao conforto visual, verificou-se um sistema de iluminação que oferece boas condições visuais aos seus ocupantes, respeitando o descrito na norma brasileira NBR 5413.

Palavras-Chave: Etiquetagem. Edificações. Eficiência. Energia. Conforto Visual. Iluminação.

ABSTRACT

With the growing demand for energy on the planet, it is increasingly necessary to disseminate the concept of energy efficiency in an applied way. Commercial and Public Buildings are responsible for about 43% of the electricity consumption in Brazil, and more than 55% in developed countries. In parallel, human activities need to be carried out with increasing quality and efficiency, and such needs require good environmental conditions to carry out the work. The present study sought to evaluate the applicability of the prescriptive method of labeling energy efficiency in buildings and also to verify, through lighting simulation, whether the academic environments of the building offer visual comfort to its occupants, so that they can carry out their activities in the rooms of class, in good condition. The labeling method is presented by the Technical Regulation of Efficiency Quality in Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C), and the building used for the case study was the campus of the Federal University of Santa Catarina, located in Araranguá, in the Mato Alto neighborhood. The results pointed out some very significant limitations in the application of the prescriptive methodology of RTQ-C, mainly in the evaluation of lighting and air conditioning systems. The building was evaluated at level C of efficiency, but with a good potential to reach level B. Regarding the visual comfort, there was a lighting system that offers good visual conditions to its occupants, respecting the one described in the standard Brazilian NBR-5413.

Keywords: Labeling. Buildings. Efficiency. Energy. Visual Comfort. Lighting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações.....	25
Figura 02 – Caracterização das partes que compõe a envoltória.....	26
Figura 03 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	26
Figura 04 – Diferenciação entre abertura zenital, e abertura de fachada.....	28
Figura 05 – Representações AVS.....	30
Figura 06 – Representação AHS.....	30
Figura 07 – Efeitos do fator de forma sobre a iluminação natural.....	31
Figura 08 – Luxímetro Instrutherm LD-300.....	39
Figura 09 – Trena a ser Bosch Professional GLM 40.....	40
Figura 10 – Representação Área de Cobertura.....	42
Figura 11 – Representação de cálculo do AHS desconsiderando esquadrias.....	42
Figura 12 – Representação de auto-sombreamento.....	43
Figura 13 – Planta baixa térreo atualizada.....	52
Figura 14 – Planta baixa do segundo pavimento atualizada.....	53
Figura 15 – Fachada Norte da Edificação.....	54
Figura 16 – Fachada Sul da Edificação.....	55
Figura 17 – Janela e Porta das área de circulação do segundo e primeiro pavimento, respectivamente (a); Janelas dos banheiros de ambos os pavimentos (b); Janela da área de circulação do 2º pavimento, e portas de acesso protegidas pelo elemento de sombreamento amarelo no primeiro pavimento (c).....	57
Figura 18 – Aberturas Fachada Leste.....	58
Figura 19 – Transmitância Térmica da cobertura equivalente a cobertura da edificação em estudo.....	61
Figura 20 – Transmitância térmica das paredes da envoltória.....	62
Figura 21 – Cálculos da envoltória no Webprescritivo sem os pré-requisitos considerados.....	69
Figura 22 – Cálculos da envoltória no Webprescritivo com os pré-requisitos considerados.....	70
Figura 23 – Cálculos do Sistema de Iluminação no Webprescritivo.....	71
Figura 24 – Cálculos do Sistema de Condicionamento de Ar no Webprescritivo	72
Figura 25 – Cálculo da Eficiência Energética da Edificação no Webprescritivo.....	73
Figura 26 – Ambientes utilizados na simulação.....	75
Figura 27 – Modelo de luminária 2x32W utilizada para a simulação.....	76
Figura 28 – Modelo de luminária 4x16W utilizada para a simulação.....	76
Figura 29 – Representação de um dos ambientes avaliados, com os planos de trabalho (Sala 205).....	77
Figura 30 – Sala 203 com os planos de trabalho destacados.....	78
Figura 31 – Sala 205 com os planos de trabalho destacados.....	79
Figura 32 – Sala 207 com os planos de trabalho destacados.....	80
Figura 33 – Sala 201 com os planos de trabalho destacados.....	80
Figura 34 – Sala 210 com os planos de trabalho destacados.....	81
Figura 35 – Modelo luminária EAA05-S.....	83
Figura 36 – Modelo luminária EAA06-S.....	83
Figura 37 – Vista superior da simulação luminotécnica no cenário proposto.....	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Composição da matriz energética brasileira em 2017.....	16
Gráfico 02 – Distribuição do consumo por uso final em prédios públicos.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição percentual das áreas de consumo de energia elétrica no Brasil em 2017.....	15
Tabela 02 – Combinações de métodos de avaliação para classificação geral.....	24
Tabela 03 – Absortividades por tipo de superfície.....	28
Tabela 04 – Parâmetros do $IC_{máxD}$	43
Tabela 05 – Parâmetros do IC_{min}	43
Tabela 06 – Limites dos intervalos de eficiência energética.....	44
Tabela 07 – Limite de FS de vidros da cobertura, em relação a abertura zenital para cobertura.....	44
Tabela 08 – Equivalente numérico a ser utilizado para cada nível de eficiência de atividades e de ar-condicionado.....	45
Tabela 09 – Limites do Equivalente Numérico para cada nível de eficiência.....	48
Tabela 10 – Valores da Área de Envoltória.....	55
Tabela 11 – Área total dos pavimentos.....	56
Tabela 12 – Determinação do Percentual de Abertura da Edificação.....	58
Tabela 13 – Limites de cada nível de eficiência.....	60
Tabela 14 – Determinação da absortância da superfície.....	61
Tabela 15 – Valores de transmitância para edificações localizadas na Zona Bioclimática 2.....	62
Tabela 16 – DPI_L das atividades da edificação em estudo.....	63
Tabela 17 – Potência dos reatores das luminárias fluorescentes.....	64
Tabela 18 – Potência instalada para cada atividade, e área ocupada por cada atividade.....	65
Tabela 19 – Cálculo de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação.....	65
Tabela 20 – Cálculo dos Fatores K e RCR.....	66
Tabela 21 – Ponderação dos condicionadores de ar do segundo pavimento.....	67
Tabela 22 – Ponderação dos condicionadores de ar do térreo.....	67
Tabela 23 – Ponderação do sistema de condicionamento de ar.....	68
Tabela 24 – Valores de iluminância obtidos pelo sistema de iluminação artificial em utilização.....	77
Tabela 25 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 203.....	78
Tabela 26 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 205.....	79
Tabela 27 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 207.....	80
Tabela 28 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 201.....	81
Tabela 29 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 210.....	81
Tabela 30 – Ponderação do Sistema de Condicionamento artificial, com a substituição dos condicionadores nível D e E.....	82
Tabela 31 – Eficiência Energética do Sistema de Iluminação com as melhorias propostas.....	84
Tabela 32 – Valores de iluminância obtidos pelo sistema de iluminação artificial proposto.....	85
Tabela 33 – Avaliação dos parâmetros do plano e trabalho da sala 203.....	85
Tabela 34 – Avaliação dos parâmetros do plano e trabalho da sala 205.....	85
Tabela 35 – Avaliação dos parâmetros do plano e trabalho da sala 207.....	85
Tabela 36 – Avaliação dos parâmetros do plano e trabalho da sala 201.....	85
Tabela 37 – Avaliação dos parâmetros do plano e trabalho da sala 210.....	86
Tabela 38 – Comparativo final entre o resultado da etiquetagem dos sistemas atuais e dos sistemas propostos.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Área Útil dos Ambientes Condicionados
ADENE – Agência para Energia
 A_{ENV} – Área da Envoltória
AHS – Ângulo de Sombreamento Horizontal
 A_{PCOB} – Área de Projeção da Cobertura
 A_{PE} – Área de Projeção de Edificação
APT – Área Útil de Permanência Transitório, Não Condicionada
 A_{PV} – Área de Pavimento
ASHRAE – American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers
 A_{TOT} – Área Total Construída
AU – Área Útil
AVS – Ângulo de Sombreamento Vertical
BEN – Balanço Energético Nacional
BNE – Balanço Nacional Energético
BPIE – The Buildings Performance Institute Europe
BTU – *British Thermal Unit*
CBECS – Commercial Building Energy Consumption Survey
CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CONFEA – Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
COP – *Coefficient Of Performance*
CT Edificações – Comissão Técnica de Edificações
DPAE – Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia
DPI – Densidade de Potência Instalada
 DPI_{RF} – Densidade de Potência de Iluminação final
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPBD – Diretiva Europeia de Desempenho de Edifícios
EPC – *Electronic Power Control*
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EUA – Estados Unidos da América
Eq.NumCA – Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar
Eq.NumDPI – Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação
Eq.NumEnv – Equivalente Numérico da Envoltória
 $EqNum_n$ – Equivalente numérico do aparelho a ser ponderado
 $EqNum_{nP}$ – Equivalente numérico do aparelho, ponderado
FA – Fator de Altura
FF – Fator de Forma
FS – Fator Solar
GT Edificações – Grupo Técnico de Edificações
GW/hora – Giga Watt Hora
h – Hora
IAB – Instituto dos Arquitetos do Brasil
 IC_{ENV} – Índice de Consumo da Envoltória
 $IC_{máxD}$ – Índice Máximo de Consumo para Obtenção de Etiqueta Mínima D
 IC_{min} – Índice Mínimo de Consumo da Edificação
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPLV – *Integrated Part Load Value*

ISO 15099: 2003 – *International Organization for Standardization n° 15099: 2003*
ISO 7730 - *International Organization for Standardization n° 7730*
ISO 9050: 2003 - *International Organization for Standardization n° 9050: 2003*
kW – Kilo-Watt
kWh/m² – Kilo-Watt hora/metro quadrado
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética de Edificações
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
LED – *Light Emitting Diode*
lm/W – Lúmens/Watt
NBR 15220-2 – Norma Brasileira de Regulamentação n°15220-2
NBR 16401 – Norma Brasileira de Regulamentação n°16401
NBR 5413 – Norma Brasileira de Regulamentação n° 5413
NBR8995 – Norma Brasileira de Regulamentação n° 8995
NFRC 201:2004 – *National Federation of Roofing Contractors Limited n° 201:2004*
 N_l – Número de Lâmpadas
OIA – Organismos de Inspeção Acreditado
PAF – Percentual de Abertura de Fachadas
PAF_O – Percentual de Abertura na Fachada Oeste
PAF_T – Percentual de Área de Abertura na Fachada Total
PAZ – Percentual de Aberturas Zenitais
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
 P_l – Potência de Cada Lâmpada
 P_n – Potência do aparelho (BTU/h)
 P_{SA} – Potência de iluminação das salas de aula (W)
 P_{MU} – Potência de iluminação das salas multiuso (W)
PNE – Plano Nacional de Energia
PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética
PNEf 30 – Plano Nacional de Eficiência Energética 2030
 P_r – Potência das Perdas no Reator
PROCEL – Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica
 P_T – Potência total do sistema de climatização (BTU/h)
 $P(W)$ – Potência Instalada em uma Luminária
R\$ – Reais
RAC – Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
RAC-C – Relatório de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RCCTE – Regulamento Característico de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RTQ-C – Relatório Técnico de Qualidade de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
RTQ-R – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
ST Edificações – Secretaria Técnica de Edificações
TWh – Tera Watt Hora
UE – União Europeia
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
VRF – Fluxo de Refrigerante Variável
 V_{TOT} – Volume Total
W – Watt
W/m².K – Watt / Metro quadrado * Kelvin

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: CONTEXTO MUNDIAL E BRASILEIRO	18
2.2 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C)	23
2.2.1 Envoltória	25
2.2.2 Sistema de Iluminação	33
2.2.3 Sistema de Condicionamento de Ar	35
2.3 NBR 8995 E O CONFORTO VISUAL DOS AMBIENTES	36
3 OBJETIVOS	38
3.1 OBJETIVO GERAL	38
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
4 METODOLOGIA	39
4.1 OBTENÇÃO DOS PROJETOS DE EDIFICAÇÃO	39
4.2 VISITA TÉCNICA <i>IN LOCO</i>	39
4.3 ATUALIZAÇÃO DOS PROJETOS DA EDIFICAÇÃO	40
4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM	40
4.4.1 Análise dos Pré-Requisitos Gerais	40
4.4.2 Envoltória	41
4.4.3 Sistema de Iluminação	45
4.4.4 Condicionamento de Ar	46
4.4.5 Determinação da eficiência energética da edificação	47
4.4.6 Comparação dos resultados obtidos, com o Webprescritivo	48
4.5 SIMULAÇÃO LUMINOTÉCNICA	48
4.6 DISCUSSÃO DE POSSÍVEIS MELHORIAS DA EDIFICAÇÃO	49
5 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	50
5.1 OBTENÇÕES DOS PROJETOS DA EDIFICAÇÃO	50
5.2 VISITA TÉCNICA	50
5.3 ATUALIZAÇÃO DOS PROJETOS DO CAMPUS	52
5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ETIQUETAGEM	53
5.4.1 Análise dos pré-requisito gerais	53
5.4.2 Análise de Envoltória	53
5.4.3 Sistema de Iluminação	62
5.4.4 Sistema de Condicionamento de Ar	66
5.4.5 Determinação da Eficiência Energética da Edificação	68
5.5 SIMULAÇÃO LUMINOTÉCNICA DA ILUMINAÇÃO EXISTENTE	75
5.6 AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO	82
6 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A energia é fundamental à existência humana desde o descobrimento do fogo. A partir da primeira revolução industrial, ela se tornou o pilar fundamental do desenvolvimento industrial e tecnológico que moldou nossa sociedade até os tempos atuais. Empregada nos meios de produção, transporte, e no consumo de diversos bens de consumo, é responsável direta pela expansão tecnológica dos sistemas de comunicações responsáveis pela consolidação da globalização. É também a grande responsável por fornecer o conforto em ambientes residenciais, comerciais e industriais que não ofereçam estas condições a seus usuários em condições naturais. Não por acaso, fontes de energia são frutos de batalhas políticas e, por vezes, guerras.

A expansão da oferta de energia elétrica, por vezes até mesmo as consideradas renováveis, é um processo de alto custo financeiro e, em muitos casos, ambiental e social. No Brasil, os casos de Itaipu e Belo Monte são exemplos do enorme impacto ambiental e social da construção de complexos com a finalidade de aumento da disponibilidade de energia elétrica.

Por definição, eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e a energia disponibilizada para sua realização. Na prática, eficiência energética consiste em redução da quantidade de energia necessária para que uma atividade seja realizada com a mesma qualidade. Assim, quanto menor o dispêndio energético para uma atividade, mais atividades podem ser realizadas com a mesma oferta global de energia, reduzindo, portanto, a dependência do desenvolvimento mundial em relação ao aumento da oferta de energia.

Na arquitetura, define-se Eficiência Energética como a representação do potencial da mesma em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com o menor custo de energia possível. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais, com menor consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Nesse contexto, a eficiência energética em edificações possui grande relevância de estudo.

Residências, supermercados, salas comerciais, e prédios públicos existem em todo o planeta, em quantidades cada vez maiores. Estas estruturas consomem elevada quantidade de energia, a fim de, principalmente, oferecer conforto a quem utiliza os espaços, através dos seus sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Em 2007, os edifícios representavam 40% do consumo de toda a energia gerada no planeta (SANTOS; SOUZA, 2012). O *Energy Statistics Manual* (2011) mostrou que, nos últimos 30 anos, o consumo energético mundial saltou de 38%, para 52%. Cientes da significância destes números, ao longo dos anos, diversos países vêm empregando medidas que tornem as edificações locais que ofereçam conforto visual e térmico, com o menor uso possível de energia elétrica.

Para que seja possível mensurar o nível de eficiência destas edificações, e identificar pontos que podem ser melhorados, foram desenvolvidas metodologias para classificar estas edificações de acordo com seu nível de eficiência, através de certificações energéticas. No Brasil, em 2009, a Portaria nº163 do Inmetro oficializou a criação do Relatório Técnico de Qualidade de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), com o objetivo de classificar as edificações brasileiras entre mais eficientes, ou nível A, até as menos eficientes, nível E.

O Plano Nacional de Eficiência Energética 2030 (PNEf 30), apresentado ao final de 2011, vislumbrou uma economia de consumo energético de cerca de 106 Tera Watt Hora (TWh) até o ano de 2030, através de reduções progressivas no desperdício de energia, com a expansão da eficiência energética em todos os setores de consumo de energia no país. Em suas estimativas, as edificações possuem potencial de redução de consumo de energia elétrica na

ordem de 20 a 25%, em relação a edificações construídas entre 2002 e 2007, através de projetos de eficiência energética, principalmente nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, responsáveis por cerca de 70% do consumo energético das edificações brasileiras (PROCEL, 2013).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018 (BEN 2018), que apresenta informações relativas ao ano de 2017, as Edificações Residenciais, Comerciais e Públicas, eliminando as perdas, consomem 42,8% da energia elétrica brasileira, ou seja, cerca de 265,23 TWh. Para os dados de energia elétrica total consumida por estes 3 setores em conjunto, incluindo as perdas do sistema, o valor sobe para 51,1%, como mostra, a seguir, a Tabela 01.

Tabela 01 – Composição percentual das áreas de consumo de energia elétrica no Brasil em 2017

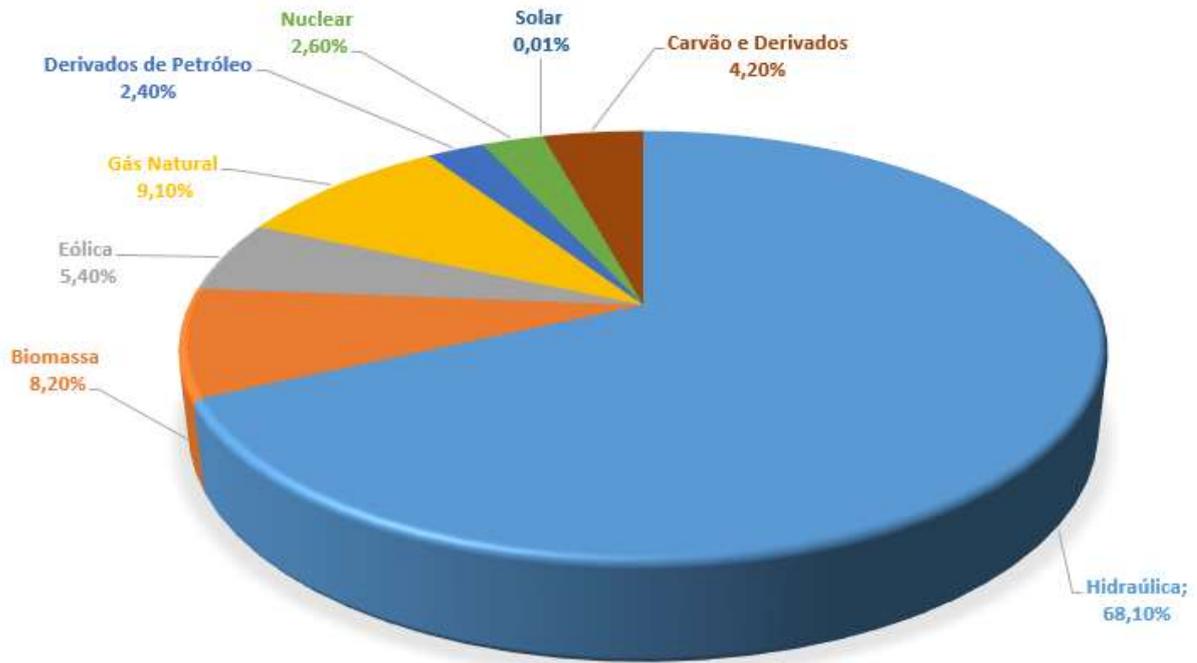
Setores	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Consumo Final (10 ³ tep)	35.443	36.829	36.638	39.964	41.363	42.861	44.373	46.005	45.096	44.705
Setor Energético	4,2	4,3	4,3	5,8	5,0	5,3	5,8	5,8	6,1	5,7
Residencial	22,1	22,3	23,6	23,1	23,3	23,6	24,2	24,7	25,0	25,6
Comercial	14,2	14,6	15,5	15,0	15,4	16,0	16,4	16,9	17,4	17,2
Público	8,2	8,1	8,3	8,0	7,9	8,0	8,0	8,5	8,3	8,3
Agropecuário	4,3	4,3	4,2	4,1	4,5	4,7	4,6	5,0	5,1	5,3
Transportes	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Industrial	46,7	46,1	43,8	43,8	43,5	42,1	40,7	38,7	37,7	37,6
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2018 (Adaptado)

O consumo de energia elétrica em prédios públicos representou gastos na ordem de 2,4 bilhões de reais ao país (ELETROBRAS, 2018). Em relação aos edifícios comerciais, nota-se uma estabilização no consumo, justificado pela crise econômica enfrentada pelo país desde 2014, onde a atividade comercial registra sequenciais quedas. O potencial de redução do consumo de energia nestas edificações, somada da sua significativa participação no consumo de energia elétrica no Brasil, evidenciam a importância de se avançar na efficientização de todos os prédios públicos.

Cerca de 81,71% da energia ofertada no Brasil, é provida por fontes renováveis, sendo 68,1%, através de fontes hidráulicas, como as usinas hidrelétricas. Porém, é importante frisar que, apesar do processo de geração de energia por esta fonte ser, de fato, de baixo ou nenhum impacto ambiental, o processo de implementação de usinas hidrelétricas é altamente danoso, modificando todo o ecossistema em que a mesma é instalada, causando a destruição de habitats, extinção de espécies, e alterando todo o modo de vida da população das regiões próximas, sendo, portanto, questionável no aspecto ambiental e sustentável. Considerando ainda a porcentagem significativa da composição da matriz energética brasileira proveniente de fontes fósseis, mostrada abaixo no Gráfico 01, mensurar o desempenho energético das edificações e aliar essa análise a um planejamento de torná-lo altamente eficiente, permite obter uma redução nos níveis de poluição e impactos ambientais provenientes da geração de energia.

Gráfico 01 – Composição da matriz elétrica brasileira em 2017



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2018 (Adaptado)

Um passo importante para obter os resultados esperados e estimados pelo PNEf, foi a instrução normativa nº2, de 2014, resolvida pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Em seu capítulo III, esta instrução determina que edificações públicas federais construídas a partir de 2014, sejam projetadas de forma a receber a Etiqueta Nacional de Consumo de Energia (ENCE) Geral de Projeto nível A e, após a construção, garantam a obtenção da ENCE Geral de Edificação Construída, também de nível A. Além disso, edificações construídas anteriormente, que passarem por projetos de *retrofit* em seus sistemas de iluminação e condicionamento de ar, devem obter a ENCE Parcial de Edificação Construída classe A para os sistemas individuais reformados. Por fim, obras em edificações antigas, que alterem a envoltória, não podem ser projetadas de forma a reduzir sua eficiência original (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2014). De acordo com o PROCEL, através da implementação do processo de etiquetagem no Brasil, há um potencial de redução no consumo de energia de até 30% para edificações existentes, em projetos de *retrofit*, e de até 50% nas edificações. Além do positivo impacto ambiental e social, a expansão do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), pode trazer benefícios também financeiros ao país. A Universidade Federal de Santa Catarina gastou, apenas durante 2018, 17,92 milhões de reais em energia elétrica, num total de 26,90 (GWh), energia suficiente para abastecer onze 11,62 mil residências do Estado (DPAE, 2019).

Mais do que economia, as Instituições de Ensino Superior tem importante papel no estímulo às questões ambientais e energéticas (Tauchen; Brandli, 2006). Amorim (2011) destaca que no caso de um *campus* universitário, uma maneira interessante de identificar o grau de sustentabilidade energética pode ser através da etiquetagem de suas edificações, obtendo indicadores da situação atual que balizem propostas de novos projetos. Lamberts (2014) destaca que a etiquetagem de edificações permite auxiliar na garantia de edificações mais eficientes e ainda de fornecer ao governo, conhecimento do desempenho energético existente entre os modelos construtivos, e conseqüentemente, estabelecer níveis mínimos de desempenho para novos edifícios, além de orientar políticas, programas e projetos para o fomento da eficiência energética nas edificações brasileiras.

Mais do que eficiência energética, ambientes de universidades exigem condições que favoreçam seus ocupantes a obterem um bom rendimento, e bem-estar durante a execução de suas atividades. Para garantir melhores condições de trabalho e/ou estudo, especificamente, quanto ao conforto ambiental, em requisitos luminosos, por exemplo, criam-se legislações e normas com exigências que visam adequar os ambientes, de forma a proporcionar conforto ambiental.

De forma a mensurar o nível de eficiência energética e de conforto ambiental de uma edificação pública de ensino, o presente estudo teve como objetivo a verificação do nível de eficiência energética do *Campus Araranguá*, uma das sedes da Universidade Federal de Santa Catarina através da aplicação da metodologia prescritiva do RTQ-C Além disso, o estudo buscou avaliar o conforto ambiental oferecido pelo ambiente, especificamente em relação ao conforto visual oferecido aos seus ocupantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: CONTEXTO MUNDIAL E BRASILEIRO

A crise energética dos anos 70 derrubou a crença comum daquela época, em relação à infinidade energética. A partir deste momento, em paralelo à diversificação da matriz energética, países desenvolvidos como os Estados Unidos e Reino Unido, iniciaram investigações sobre o consumo em edificações, visando tornar o consumo das mesmas mais eficiente. Em 1974, o Reino Unido já possuía algumas normativas referentes à eficiência energética em edificações. O Japão, um dos países que mais sofreu com a crise do petróleo em 1973, quando este representava 80% de sua fonte primária de energia, se mostrou um dos países mais preocupados com a questão energética. Em 1979, o país também já possuía sua primeira lei relacionada ao consumo em edificações. (SANTOS; SOUZA, 2012).

Mais tarde, em 1999, os Estados Unidos lançaram o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), um programa de certificação que foi internacionalmente aceito como referência para concepção, construção e operação de alto rendimento para edifícios (OLIVEIRA, 2009). Entretanto, o LEED aborda o desempenho das edificações num contexto mais sustentável, avaliando parâmetros como eficiência no uso de água, energia e atmosfera, materiais e recursos, e a qualidade ambiental interna. (PESSOA, GHISI E LAMBERTS; 2011).

Dentre todas as regulamentações energéticas precursoras em edificações, certamente aquela com maior relevância em todos os tempos, foi a norma ASHRAE Standard 90.1, criada em 1989, nos Estados Unidos. Esta norma, que surgiu como um marco na avaliação da eficiência energética em edificações, apresenta em sua metodologia, três diferentes formas para a avaliação de eficiência de edificações: um método prescritivo, onde através de equações obtidas após diversas simulações, mede-se o nível de eficiência de envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar da edificação; um método de simulação, que compara o consumo de energia de um modelo real, com o consumo de um modelo construído conforme as prescrições da norma, averiguando o quanto este modelo real se aproxima do ideal; e um modelo compensatório que, ao avaliar edificações, permite que alguns pré-requisitos mínimos não cumpridos em determinados parâmetros, sejam compensados com rendimentos elevados em outros parâmetros.

Para análise dos sistemas de iluminação interna, a ASHRAE apresenta limites de densidade de potência para o ambiente como um todo, bem como suas subdivisões, de acordo com atividades exercidas e ocupação. Tais parâmetros só foram possíveis de se determinar devido ao *Commercial Building Energy Consumption Survey* (CBECS), a base de dados dos EUA, que continha dados importantes como área, atividade, materiais construtivos, fontes energéticas e uso para inúmeras edificações americanas, permitindo uma análise estatística dos mesmos. A ASHRAE 90.1 embasou as normas de países do mundo todo, com características climáticas, construtivas, econômicas e culturais muito diferentes, e construídos com diferenças temporais significativas, o que comprova a qualidade do trabalho realizado pelos seus idealizadores. No Egito, por exemplo, a metodologia foi elaborada com auxílio financeiro das Nações Unidas, a partir de 2000, e contou com uma equipe americana experiente no desenvolvimento das normas, o que explica a forte influência do seu código, ao sistema americano (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Relativamente nova entre as potências mundiais, a China lançou seu programa em 2008, com base na Norma 90.1 da ASHRAE (2007). Seu método prescritivo determina limites de área de aberturas envidraçadas, transmitância térmica de componentes opacos e densidade de potência de iluminação. Para o sistema de condicionamento de ar, indica limites de eficiência

para resfriadores de líquido, como COP (coeficient of performance), para carga total, e IPLV (integrated part load value), para carga parcial (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Em 2002, a fim de reduzir a dependência do mercado exterior na importação de energia, e cumprir o compromisso de redução das emissões de gases estufa, a União Europeia (UE) implementou uma diretiva a todos os países membros, vislumbrando reduzir até 2010, até um quinto do consumo de energia registrado em 2002. Dentre os focos de consumo considerados, as edificações foram pautadas pela Diretiva Europeia de Desempenho de Edifícios (EPBD) (PARLAMENTO EUROPEU, 2002). Hoje, segundo dados da Organização *Building Grating* (2015), todos os países membros desenvolveram suas metodologias, além de outros países Europeus que não fazem parte do bloco. Todas as metodologias seguiram o EPBD, com algumas adequações relativas a especificidades de cada localidade.

Atualmente, mais de 60 países possuem regulamentação de eficiência energética em edificações, embasados em parâmetros semelhantes, como valores de transmitância, porém com especificações. Por exemplo, Pessoa, Ghizi, e Lamberts (2013) verificam que o código americano vislumbra um isolamento total da edificação, de forma a condicioná-la artificialmente. Já na norma brasileira, nota-se o contrário, buscando utilizar formas de ventilação natural, como por exemplo, na avaliação de aberturas e sombreamentos. Em uma análise de 17 metodologias diferentes de certificação, Leipziger (2013) identificou que, em geral, a abordagem da avaliação é semelhante nos diferentes regulamentos. Essas semelhanças se dão, por exemplo, na adoção da avaliação através dos ratings, e nos sistemas avaliados.

Entretanto, suas metodologias são diferentes. Desta forma, apesar de haver consistência em como definir a metodologia de qualificação e quantificação de energia, há pouco consenso sobre a definição de área útil, e quais cargas devem ser incluídas ou excluídas das análises. Além disso, a flexibilização de acordo com os diferentes climas leva a uma diversidade de parâmetros e pré-requisitos para a avaliação, que podem dificultar a compreensão do público para adoção das certificações.

Estas variações geram dificuldades de interpretação e compreensão do objetivo destas certificações, principalmente para a população em geral, o que atrasa sua aceitação. No ano de 2010, o *The Buildings Performance Institute Europe* (BPIE) analisou a implementação da certificação energética em 12 países da União Européia, avaliando a aceitação da população em relação aos programas, e o cumprimento da diretiva de 2002. No estudo, revelou-se que muitos membros da UE encontravam dificuldades na implementação dos seus certificados, devido à complexidade de sua implementação. Assim como verificado por Leipziger (2013), as particularidades de cada região levam a diferentes soluções de implementação em relação à metodologia de cálculos, procedimentos legais ligados aos registros e custos, o controle e qualidade, e as atividades de promoção do programa à população. Isso inevitavelmente leva a diferenças significativas entre os países na eficácia final dos Certificados de Desempenho Energético (BPIE, 2010).

Como há obrigatoriedade em todo o continente europeu, desde 2009, da emissão dos EPC's pelo menos em transações imobiliárias, os países europeus tem, de forma geral, números significativos de edificações certificadas. Na França, onde além dos edifícios envolvidos em transações, a certificação se tornou obrigatória em edifícios públicos, em 2010, cerca de 90% das edificações públicas já possuíam certificação, inclusive obras de habitação realizadas por iniciativa pública. Na Alemanha, país com exigências semelhantes, este número é de 87%. Porém, ao comparar estes números, a número de adoções das certificações pelas as edificações privadas, os números despencam para 14%, e 30%, respectivamente.

Segundo o *Building Rating* (2015), França e Alemanha tem, em comum, ausência de exigência de verificação da certificação, além de punições brandas aos edifícios que não apresentam suas EPC. Assim, mesmo que os custos na certificação sejam relativamente baixos para o nível de distribuição de renda nestes países – o EPC na França tem, em média um custo

entre 50 e 300 euros, enquanto na Alemanha, os valores variam entre 45 e 500 euros – fica nítido que apesar de importante, a questão financeira tem relevância menor no processo de conscientização social, em relação a questões como controle de qualidade, e conscientização da população sobre a importância e os benefícios da certificação. Outros países como a Espanha, Holanda e Polônia, foram pesquisados e resultaram com situações semelhantes.

Para buscar melhorar a adesão, o governo alemão desenvolveu programas de empréstimos multi setoriais e sistema de créditos, além de aumentar seus investimentos em eficiência energética. A melhora nos resultados o levou a ser avaliado, em 2018, o país mais eficiente do planeta, em avaliação citada anteriormente, onde o Brasil se encontra em 20º.

Entretanto, dois países em específico chamaram a atenção pelos grandes resultados. Na Irlanda, em 2013, foi verificada uma média de 300 EPCs emitidos por dia. Neste caso, a aceitação pública foi influenciada positivamente pela rodada de consulta pública. Assim, no desenvolvimento da metodologia do EPC, a *Sustainable Energy Ireland* prestou especial atenção ao equilíbrio de questões como praticidade, custos, clareza e consistência, que foi considerado vital para a reputação do mercado e a eficácia do sistema, a partir daquilo que foi exposto pela população. Tais diretrizes levaram à criação de um certificado visualmente bom e de alto impacto, com classificação energética que é familiar ao público em geral, semelhante à classificação de eletrodomésticos, assim como a brasileira, além de um sistema que fornece um relatório consultivo, com boas informações sobre como realmente melhorar o desempenho energético do edifício, e banco de dados dos equipamentos, para melhor acompanhamento, com setor de *help desk* para suporte, e um mecanismo de garantia de qualidade (BUILDING GRATING, 2015).

Em Portugal, o atual sistema de certificação vigora desde 2006. Este sistema estabelece distinção clara entre os regimes aplicáveis a edifícios residenciais e não residenciais, sendo obrigatório a edifícios novos ou que passem por processos de reforma, sejam de habitação, ou de serviços com área útil inferior a 1000 m² e sem sistema de climatização artificial, ou com sistema de climatização de potência inferior a 25 kW (PORTUGAL, 2018). Para análise dos sistemas sem condicionamento artificial, utiliza-se o Regulamento Característico de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), focado na limitação das perdas térmicas e controle dos ganhos solares. Já para os sistemas artificialmente condicionados, aplica-se o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que não apenas limita o consumo de energia do sistema, como avalia sua qualidade, eficiência e manutenção (PORTUGAL, 2018). No RSECE, há uma sensível diferença para a tendência das metodologias de certificação em vigência na Europa e demais locais pelo mundo. Não se trata apenas de mensurar a eficiência do sistema de climatização, mas também, verificar a qualidade do ar, através da medida da taxa de renovação do ar interior nos espaços, e a concentração máxima dos principais poluentes, passando-se a exigir que estes respeitem parâmetros mínimos que foram definidos pelos responsáveis técnicos da área da saúde, visando oferecer uma qualidade de ar que não afete a saúde dos ocupantes dos ambientes (ADENE, 2016).

Portugal trabalha no sistema de etiquetagem provisória, em período de obras, e de operação, após conclusão de obra, com desempenho que vai de A+, para melhor desempenho, até G, para pior desempenho. Ao contrário de países com baixo índice de implementação, a lei do país prevê multas altas aos imóveis envolvidos em transações, que não estejam certificados. Os valores podem ultrapassar o valor de 45 mil euros, em alguns casos (BUILDING GRATING, 2015). Atualmente, segundo a ADENE (2018), Portugal, um país com 10 milhões de habitantes, possui cerca de 1,5 milhão de edificações certificadas.

Os resultados permitiram observar que uma melhor comunicação com a população, abordando de forma clara e embasada as vantagens da eficiência energética, é de fundamental importância para a maior aceitação e adesão ao processo. Neste aspecto, torna-se importante que os parâmetros das regulamentações, ao menos nos pontos independentes das características

específicas de cada local, tenham maior coesão em relação às interpretações científicas de sua importância. Outro aspecto fundamental são os custos da certificação, que, segundo Leipziger (2013), possuem papel fundamental na aceitação pública e ao rendimento per capita. Trata-se de um ponto em que o Brasil ainda tem a evoluir. Segundo dados da PROCEL, o custo médio da etiquetagem varia de 12 a 25 mil reais, a depender da forma da edificação, e da metodologia aplicada. Na parte técnica, é importante ainda a maior capacitação dos profissionais da área.

A exigência dessas avaliações de desempenho em edifícios que sejam vendidos, alugados ou arrendados, é uma premissa interessante de ser considerada e implementada nos demais continentes. Dessa forma, o ramo imobiliário tornar-se-ia diretamente interessado no assunto, e certamente contribuiria nas medidas de divulgação e qualificação da implementação da metodologia.

No contexto brasileiro, a introdução do conceito eficiência energética data de meados dos anos 80, com a discussão que o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) realizou em conjunto com a sociedade, acerca da racionalização do consumo de energia de eletrodomésticos e máquinas industriais. Este projeto cresceu e se transformou no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (BRASÍLIA, 2018). O programa tinha sua aplicação opcional, sem nenhuma obrigatoriedade ou compulsoriedade para nenhum equipamento.

Em 30 de dezembro de 1985, o governo brasileiro instituiu, através do Ministério de Minas e Energia, o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL). Neste momento, o consumo de energia elétrica no Brasil representava cerca de um terço do consumo energético total do país, e já se notava uma iminente necessidade de controlar esse consumo através da eficiência energética. Esta conclusão é corroborada pela portaria que oficializa sua criação, tem-se como objetivo do programa, “Racionalizar o uso da energia elétrica e, como decorrência da maior eficiência, propiciar o mesmo produto ou serviço com menor consumo, eliminando desperdícios e assegurando redução global de custos e investimentos em novas instalações do sistema elétrico”. Em 1993, o PROCEL cria o sistema de medição de eficiência energética de eletrodomésticos e motores industriais, comerciais e residenciais, que foi intitulado Selo Procel, com intuito de permitir à população escolher equipamentos com maior eficiência, poupando seu dinheiro ao mesmo tempo em que contribui com o meio ambiente.

No início dos anos 2000, o Brasil passou por uma grave crise energética. Em alguns pontos do país, principalmente o Sudeste, ocorreram frequentes racionamentos de energia elétrica. Ainda mais preocupante é o fato de que, uma significativa parte da população, ainda não tinha acesso à energia elétrica em suas casas. Além disso, como economia subdesenvolvida, o Brasil necessitava do aquecimento das atividades industriais para seu crescimento. A indústria, por sua vez, é movida pela energia. Esse contexto deixava claro o quão caótico era a situação brasileira naquele momento e, principalmente, a necessidade de se tomar medidas imediatas para não apenas aumentar a disponibilidade energética no país, mas reduzir ao máximo o desperdício, através da eficiência energética. Buscando solucionar este problema, o governo brasileiro investiu imediatamente na geração de energia, de forma a aumentar sua disponibilidade, e, naturalmente, tomou medidas para o racionamento a curto prazo, visando apenas a redução de consumo. Porém, em paralelo à essas medidas emergenciais, o governo intensificou o trabalho de efficientização no consumo de energia no país, através de melhor gerenciamento, controle, e planejamento do setor energética brasileiro. (CARLO; LAMBERTS, 2011)

Assim, em 17 de outubro de 2001, o governo aprovou a lei mais simbólica deste novo contexto energético brasileiro, chamada Lei de Eficiência Energética, nº10.295. Através desta lei, passou a ser obrigatório que equipamentos utilizados em residências, comércio e indústrias brasileiras possuam requisitos mínimos de eficiência energética, regulamentados por esta lei (BRASIL, 2001). Nesse período, as edificações brasileiras eram responsáveis pelo consumo de

cerca de 35% de toda a energia elétrica disponíveis no país. Ciente disso, na regulamentação da lei, o governo instituiu a criação do Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética – CGIEE, com a função de estabelecer planos de metas, gerenciar e implementar regulamentos e avaliar resultados energéticos de diversos segmentos no país, incluindo o setor de edificações.

No CGIEE, cada área de interesse do setor energético era representada por um grupo técnico, responsável pelo desenvolvimento de melhorias energéticas nos mesmos. Para as edificações, seu grupo técnico era composto por um representante de universidade brasileira especialista em matéria de edificação e energia, um representante do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA), um representante do Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB), e um representante da Câmara Brasileira da Indústria da Construção, encarregado de desenvolver um modelo de análise, avaliação e determinação da eficiência energética em edificações. A esse grupo, foi dado o nome de GT Edificações. (BRASIL, 2001)

Através dos estudos preliminares deste grupo de trabalho, nasce o ponto de partida na redução do consumo de energia em edificações, com a adoção de eficiência energética. O decreto nº4.131, de 17 de fevereiro de 2002, definiu que os órgãos das Administrações Públicas Federais deveriam reduzir seu consumo a 87,5% do consumo mensal registrado no mesmo período do ano 2000 (BRASIL, 2002). Por indicação do decreto, essa redução deveria passar não apenas pela redução do tempo de uso de iluminação e condicionamento de ar, mas com a análise da eficiência energética dos equipamentos e a substituição dos que se comprovassem ineficientes.

O decreto nº4.131 é um ponto de partida na determinação de um limite de consumo das edificações públicas. A partir desse decreto, seguiram uma série de medidas coordenadas por grupos de trabalho multidisciplinares, a fim de desenvolver metodologias para atingir a meta proposta pelo decreto, além de trabalhos em paralelo para permitir o gerenciamento, análise e controle da evolução no processo de efficientização de toda a matriz de geração e consumo energético no Brasil.

Em 2003, a Eletrobrás ramifica o PROCEL em subsecretarias. A nova subsecretaria, PROCEL Edifica, surge com a finalidade de expandir os mesmos objetivos do PROCEL, agora para as edificações brasileiras (BRASÍLIA, 2018), trabalhando em formas de efficientizar o consumo de energia das mesmas.

Paralelamente ao trabalho do CGIEE e PROCEL, em 15 de março de 2004, através da lei nº 10.847, o governo brasileiro autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a finalidade de ter um órgão focado em estudos e pesquisas destinadas ao setor energético, podendo assim estabelecer metas energéticas em todos os segmentos, e controles periódicos do consumo e disponibilidade de energia (BRASIL, 2004). Em 2007, a EPE lança o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE30), onde, baseado em parâmetros ligados ao consumo e geração de energia ao país, define um planejamento de longo prazo no setor energético brasileiro, orientando tendências e metas para o setor. Neste planejamento, estabelecia-se o desenvolvimento de um Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que trata especificamente das questões relacionadas as edificações brasileiras, sua efficientização, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem, estipulando metas de redução de consumo a longo prazo. Para acompanhar os resultados anuais da geração e consumo energético no Brasil, a EPE desenvolve anualmente o Balanço Nacional Energético (BNE), permitindo analisar a pontos fundamentais para o país, no que tange ao setor energético brasileiro.

Em 2005, o GT Edificações, após uma análise crítica, decidiu pela etiquetagem em edificações como a primeira atividade para a redução no consumo de energia em edificações. Para efetivar a ação, passam a envolver-se diversos atores. Primeiro, o GT-Edificações desmembrou parte de seu grupo de estudo para a Secretaria Técnica de Edificações (ST Edificações), já em conjunto com a PROCEL Edifica. Composto por especialistas do meio acadêmico e representantes dos conselhos de classe e de entidades do setor de construção civil,

o objetivo deste grupo de trabalho era desenvolver uma metodologia através da análise de requisitos técnicos, para avaliar o nível de eficiência energética de uma edificação. Em paralelo, o INMETRO coordenou a criação de uma comissão técnica, chamada CT-Edificações, com a finalidade de discutir o processo para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

O ST Edificações desenvolveu, dentro do PBE Edifica, a metodologia para avaliação da eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas, chamado Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Sua primeira edição foi aprovada em 2008, e para as edificações residenciais, chamado Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R), foi lançado pouco mais tarde, em 2010. O trabalho do CT Edificações, por sua vez, teve como produto o documento chamado Requisitos de Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) (PBE Edifica, 2007), com a função de regulamentar e instruir quanto aos procedimentos para a obtenção da ENCE em todas as fases de projeto.

2.2 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS (RTQ-C)

Aprovado em 2008, o RTQ-C tem sua primeira versão lançada em 27 de fevereiro de 2009, através da portaria nº 53 do INMETRO, com o objetivo de reduzir o consumo de energia nas edificações com eficiência energética, propiciando o conforto térmico e a qualidade de iluminação necessários, com o menor consumo possível.

Neste documento, apresentado pelo INMETRO, com todos os requisitos técnicos para analisar os três sistemas responsáveis por praticamente toda a energia consumida em edificações comerciais e públicas, cada um com requisitos específicos: desempenho térmico da envoltória, iluminação, e condicionamento de ar. De acordo com o desempenho mensurado, os edifícios tem seus sistemas classificados de A (mais eficiente), até E (menos eficiente). Este documento passou por alterações e, atualmente, vigora com a Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010, com alterações de portarias de 2012 e 2013.

A metodologia do RTQ-C é aplicável para edifícios com área total útil mínima de 500m² e/ou tensão de abastecimento advinda da distribuidora, igual ou superior a 2,3kV, equivalente à classe tarifária de alta tensão. Os edifícios podem ser condicionados, parcialmente condicionados, ou não condicionados, com algumas diferenças em sua avaliação. Outro importante parâmetro na metodologia de avaliação de uma edificação é a Zona Bioclimática em que a mesma está inserida, uma vez que este parâmetro influencia diversos valores referência para a envoltório da edificação (RTQ-C, 2013).

Existem duas metodologias para avaliação do nível de eficiência do edifício: o método prescritivo, que será adotado no presente estudo, e o método de simulação. O método prescritivo consiste na aplicação de um conjunto de regras e parâmetros que foram definidos através da simulação termoenergética de diferentes tipologias de edifícios construídos no país. Na construção deste método, segundo Fossati, Morishita e Lamberts (2011), foi realizado um levantamento fotográfico de 1.103 edificações comerciais e institucionais, em cinco capitais brasileiras. Foram identificadas características como percentual de abertura de fachada, existência e dimensão de proteções solares, e cores dos vidros, dando origem a cinco protótipos, cada um com volumetria e atividade comercial distinta: hotel, grande e pequeno escritório, grande e pequena loja. Estes foram alterados para o pior caso de cada atividade comercial encontrada, e avaliadas sob diversas condições. Em seguida, medidas de eficiência foram aplicados ao protótipo pouco eficiente, verificando sua relevância.

Ao final das avaliações, formulou-se uma equação que calcula a pontuação total da edificação, com uma composição de pesos desiguais entre os três sistemas. Do total, 40% de peso vai para a pontuação do sistema de condicionamento de ar, frente a 30% dos sistemas de envoltório e iluminação. Essa diferenciação, segundo Carlo e Lamberts (2011), se dá pela contribuição maior no consumo de energia pelos condicionadores de ar, em comparação ao sistema de iluminação, com já abordado anteriormente.

O emprego da metodologia prescritiva, segundo Carlo e Lamberts (2010), é de ótima aplicação para determinadas tipologias, comuns na área civil brasileira. Para edifícios com inovações tecnológicas ou parâmetros fora dos limites determinados pelo método prescritivo, pode ser mais interessante a utilização da metodologia de simulação.

O método de simulação baseia-se na simulação termoenergética do edifício real ou proposto no projeto, com modelos referência para cada nível de eficiência, cujas características são baseadas no método prescritivo. A classificação, portanto, se dá através da comparação do desempenho do modelo real, aos modelos idealizados. De acordo com Carlo e Lamberts (2010), o método da simulação proporciona certas vantagens na análise termoenergética das edificações. Por exemplo, a possibilidade de incluir certas medidas de eficiência energética que não constam no método prescritivo, como o aproveitamento de luz natural, o uso de *brises*, e diferentes formas de instalação de componentes, visando redução de consumo. Outra vantagem, é que este método se encaixa para edificações condicionadas artificialmente, parcialmente condicionadas, e não condicionadas.

Para edificações não condicionadas, a simulação deve comprovar que esses ambientes proporcionam temperaturas dentro da zona de conforto, de acordo com sua zona bioclimática, durante um determinado percentual de horas ocupadas. Esse percentual representa o equivalente numérico de ventilação, que é usado na equação da pontuação final.

Tabela 02 – Combinações de métodos de avaliação para classificação geral

Envoltória	Iluminação	Condicionamento de Ar	
		Ventilação mecânica	Ventilação Natural
Prescritivo	Prescritivo	Prescritivo	Simulação
Simulação	Simulação	Simulação	Simulação
Simulação	Prescritivo	Prescritivo	Simulação

Fonte: Autor

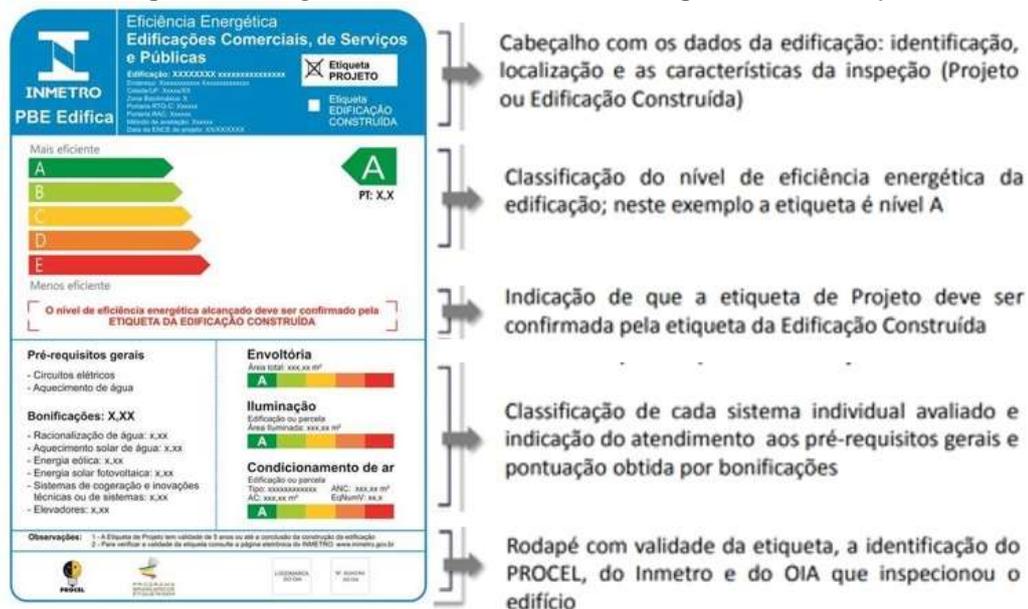
Independentemente do método a ser empregado, o processo de etiquetagem tem, em geral, duas fases, ambas determinadas no Relatório de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C). Na primeira fase, avalia-se o projeto e demais especificações técnicas enviadas pelo solicitante da avaliação, e a ela, atribui-se a ENCE de projeto, com validade até o edifício receber o alvará de Conclusão de Obra, em um prazo máximo de 5 anos. Com o Alvará (ou ligação definitiva de energia), ocorre a segunda etapa, onde inspeciona-se o edifício construído e, se respeitado aquilo que foi projetado, o edifício recebe a ENCE de Edifício Construído. Estas avaliações são realizadas por Organismos de Inspeção Acreditado (OIA), que são os encarregados de avaliar o edifício com os métodos descritos no RTQ-C, de acordo com as normas descritas no RAC-C.

Não é obrigatório que os edifícios obtenham uma ENCE Geral de todo o espaço. Existem diversas composições diferentes de etiquetas a serem atribuídas, de acordo com sua necessidade. O edifício pode receber sua ENCE Geral de um pavimento ou conjunto de salas, avaliando os três sistemas, sendo a envoltória para toda a edificação, e os demais sistemas em apenas em uma parte do edifício, como um de seus pavimentos, ou conjunto de salas. Também, é possível que o edifício avalie apenas um ou dois sistemas, recebendo as ENCE's parciais. As ENCE's parciais, porém, nunca podem ser obtidas sem a avaliação da envoltória, ou seja, pode-

se receber a ENCE apenas do sistema de envoltória, ou do sistema de envoltória somado a um dos outros dois sistemas. Essa flexibilidade se deve ao fato de que nem sempre o edifício é comercializado contendo os sistemas de iluminação e condicionamento de ar instalados.

Quando um dos sistemas, ou a etiqueta geral do edifício recebe classificação A, este recebe o Selo Procel de eficiência energética em edificações, como uma certificação de que, aquele edifício é de fato, uma edificação eficiente. A Figura 01, apresenta uma etiqueta geral, e especifica o que significa cada uma de suas informações.

Figura 01 – Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações



Fonte: Universidade Federal de Pelotas, 2015

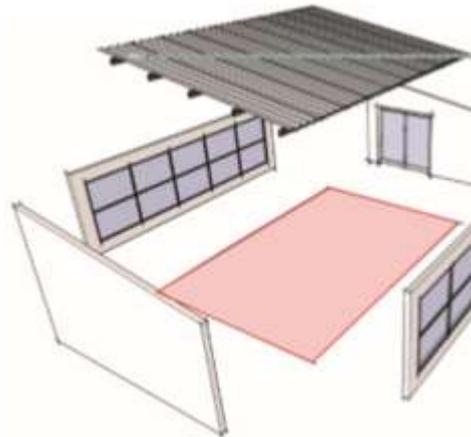
Segundo Pessoa, Ghisi e Lamberts (2013), o RTQ-C surge como uma alternativa às escolhas equivocadas por modelos de construção importados do exterior para se construir no clima brasileiro, levando a um setor de edificações que não se adapta naturalmente às condições climáticas locais e precisa recorrer progressivamente à climatização artificial, gerando despesas desnecessárias de energia e recursos naturais.

2.2.1 Envoltória

Na definição do RTQ-C, a envoltória é formada por todos os planos externos da edificação, que compõe o fechamento dos ambientes internos, e o meio de contato para as trocas entre o meio externo, e interno. Como exemplo, citam-se fachadas, coberturas, janelas e demais aberturas, brises, e demais elementos que os compõem. A Figura 02 apresenta uma caracterização das partes que compõe a envoltória.

O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da edificação, que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos (CARLO, 2008).

Figura 02 – Caracterização das partes que compõe a envoltória

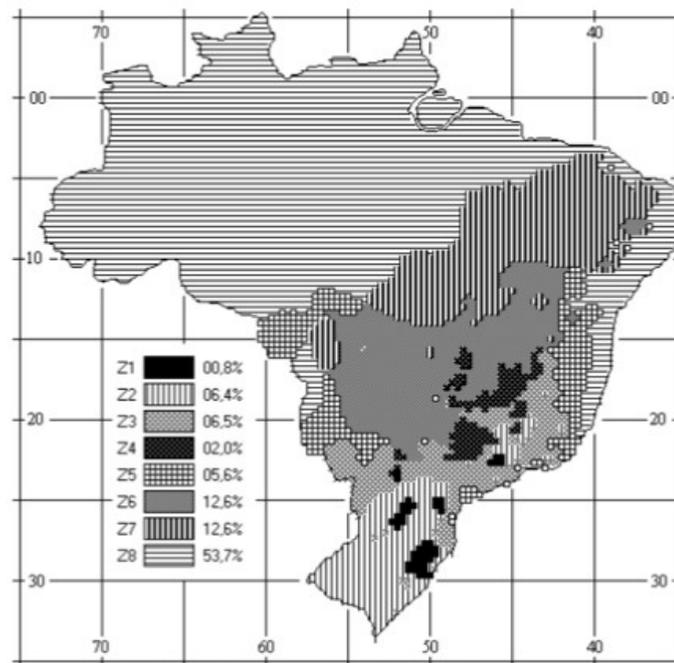


Fonte: PBE Edifica, 2015

A eficiência da envoltória é fundamentada na avaliação das escolhas dos materiais que a compõe, bem como na sua forma de concepção em quesitos como aberturas e orientação. Para cada tipo de clima, diferentes características técnico-construtivas se fazem necessárias para que a edificação obtenha uma boa avaliação. O RTQ-C considera estas diferenças, quando diferencia as equações relativas à análise de envoltória, de acordo com cada uma das zonas bioclimática brasileiras.

Uma zona bioclimática abrange territórios que são relativamente homogêneos em relação ao seu clima e, no caso de Araranguá, cidade situada no sul de Santa Catarina, sua zona bioclimática de número é a de número 2, junto de outras 32 cidades, conforme mostra a Figura 03.

Figura 03 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 13220, 2013

Na avaliação da eficiência energética da envoltória, o RTQ-C tem três parâmetros como pré-requisitos específicos para classificação: a Transmitância Térmica (U) e a Absortância Térmica (α), relativo a materiais, e o Percentual de Aberturas Zenitais (PAZ),

relativo a aberturas envidraçadas na cobertura. Além disso, outros aspectos relativos à forma (Fator de Forma e de Altura), orientação e aberturas (Percentual de Abertura), proteções solares (Ângulos de Sombreamento Vertical e Horizontal) e fechamentos transparentes (Fator Solar) são mensurados, para determinação do Índice de Consumo da Envoltória (IC_{ENV}) que determinará a eficiência da envoltória.

A avaliação da envoltória através destes parâmetros é justificada, segundo Lamberts e Carlo (2011), pela influência das mesmas na variação de consumo de energia através da carga térmica, nos edifícios utilizados como modelo na elaboração do RTQ-C. Assim, o RTQ-C mensura a eficiência de envoltório, baseado nos parâmetros que influenciam seu desempenho. Quanto aos pré-requisitos, é necessário que se cumpram os três para que seja possível a obtenção de certificação nível A ou B, e pelo menos o cumprimento relativo à Transmitância Térmica, para classificação C e D.

2.2.1.1 Transmitância Térmica (U)

Em uma edificação, há constantes trocas de energia, principalmente em forma de luz e calor, entre o meio externo e interno. Os materiais de construção se comportam de forma diferente neste contexto. A Transmitância Térmica, expressa em $W/m^2.K$, é a medida que dimensiona essas trocas. De acordo com a NBR 15220-2, é definida como “transmissão e calor em unidade de tempo, através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, de componentes opacos das fachadas e coberturas, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. Trata-se de uma propriedade dos componentes que demonstra o quão condutor de calor um material é, ou seja, quanta energia térmica (Watts) pode ser transmitida pelo elemento em $1 m^2$ para $1 K$. (ABNT, 2005)

Lamberts et al. (2004) escrevem que o objetivo principal na especificação de um tipo de fechamento, é evitar que no verão ocorram ganhos elevados de calor, e no inverno ocorram perdas excessivas, de forma a minimizar o consumo de energia providos dos sistemas artificiais de condicionamento.

2.2.1.2 Absortância (α)

Outro parâmetro específico para o estudo da envoltória são as cores da envoltória. As cores interferem na parcela de radiação absorvida pela edificação. A NBR 15220-1 define absortância como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície. Ou seja, trata-se da parcela de radiação solar incidente que é absorvida em uma determinada superfície. Quanto maior a absortância, maior será a parcela da energia incidente que se transforma em calor após incidir sobre um material opaco que reveste a edificação, o que aumenta a temperatura interna da edificação. Além disso, cores e materiais diferentes geram diferentes capacidades de reflexão de luz natural, aumentando o reduzindo seu aproveitamento. (ABNT, 2005)

O RTQ-C avalia as absortâncias de cobertura, e paredes externas, de forma semelhante à transmitância térmica. Porém, ao contrário da transmitância, seus valores não variam de acordo com a Zona Bioclimática. A NBR 15220-2 fornece valores de absortância de alguns materiais, conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03 – Absortividades por tipo de superfície

Tipo de superfície	α	β
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Calação nova	0,12/0,15	0,90
Concreto aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro	0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Reboco claro	0,30/0,50	0,85/0,95
Revestimento asfáltico	0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro incolor	0,06/0,25	0,84
Vidro colorido	0,40/0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35/0,80	0,15/0,84
Pintura branca	0,20	0,90
Pintura Amarela	0,30	0,90
Pintura Verde clara	0,40	0,90
Pintura “alumínio”	0,40	0,50
Pintura Verde Escura	0,70	0,90
Pintura Vermelha	0,74	0,90
Pintura preta	0,97	0,90

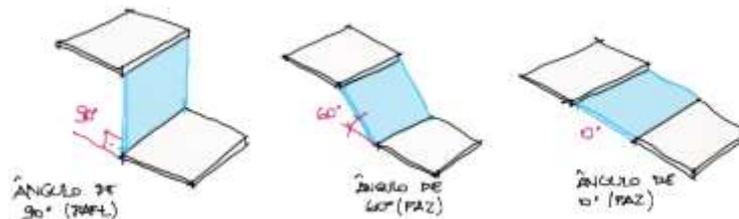
Fonte: NBR 15220 (Adaptado)

2.2.1.3 Percentual de Abertura Zenital (PAZ)

As aberturas da envoltória, tais quais janelas, portas e zenitais, constituem os elementos por onde ocorrem as trocas de calor em maior intensidade, prejudicando o isolamento térmico da edificação.

Aberturas zenitais são aberturas que se localizam na cobertura da edificação, com inclinação igual ou menor a 60° em relação ao plano horizontal de uma superfície. Aberturas com inclinações maiores que 60° fazem parte do cálculo do Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFt), e abrangem, geralmente, aberturas em paredes verticais, como fachadas. Na Figura 04 pode-se visualizar a diferença entre PAZ e PAFt.

Figura 04 – Diferenciação entre abertura zenital, e abertura de fachada



Fonte: MME, 2010

2.2.1.4 Fator Solar (FS)

O Fator Solar informa qual a porcentagem da radiação solar incidente que atravessa os diferentes fechamentos de uma edificação. Da mesma maneira, o RTQ-C trata do Fator Solar para elementos transparentes ou translúcidos, entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Em geral, o uso de vidros com FS baixo influencia na redução de ganho de calor solar, porém, diminui o aproveitamento da luz natural, agindo no aumento do consumo energético para a iluminação dos ambientes internos. O RTQ-C procura mitigar essas relações por meio da sua metodologia (CARLO; LAMBERTS,

2010). As ISO's 15099 e 9050 apresentam procedimentos de cálculos normalizados para o FS e outros índices de desempenho energético de vidros e janelas. De forma geral, porém, o fator solar é fornecido pelo fabricante.

Basear decisões de projeto na eficiência do vidro das aberturas e dispensar elementos de proteção pode não ser uma alternativa viável quando se tem uma grande área envidraçada, pois mesmo um fator solar baixo pode não compensar o ganho térmico dessa área. Pode-se modificar a influência desse parâmetro alterando orientação e tamanho das aberturas, o tipo de vidro que será utilizado nas aberturas e fazendo uso de proteções solares externas, a fim de que a radiação solar não atinja o vidro (FOSSATI; LAMBERTS, 2011). Em seus estudos, Fossati e Lamberts (2011), afirmam que o parâmetro fator solar foi a variável presente na equação, que apresenta menor influência no indicador de consumo da envoltória. Santana (2006) observou que a cada variação de 0,1 de fator solar ocorreu uma alteração no consumo de energia de 0,6%.

2.2.1.5 Percentual de Abertura de Fachadas (PAF)

O Percentual de Abertura das fachadas é um termo adotada no RTQ-C para mensurar a relação entre a área total de fachadas, e o percentual dessa área que é composta por aberturas feitas de materiais transparentes ou translúcidos, com inclinação maiores do que 60° em relação ao plano horizontal.

Fossati e Lamberts (2011), avaliaram 10 edifícios de escritórios da parte insular de Florianópolis, com três ou mais pavimentos, cujos projetos foram aprovados entre 2000 e 2005, propondo uma discussão acerca da avaliação da envoltória através do método prescritivo. Com os resultados pôde-se perceber que o percentual de abertura na fachada é a variável de maior impacto no indicador de consumo da envoltória. Grandes áreas de janela permitem ganhos ou perdas excessivas de calor, gerando o aumento de consumo de energia através da utilização dos sistemas de condicionamento artificiais.

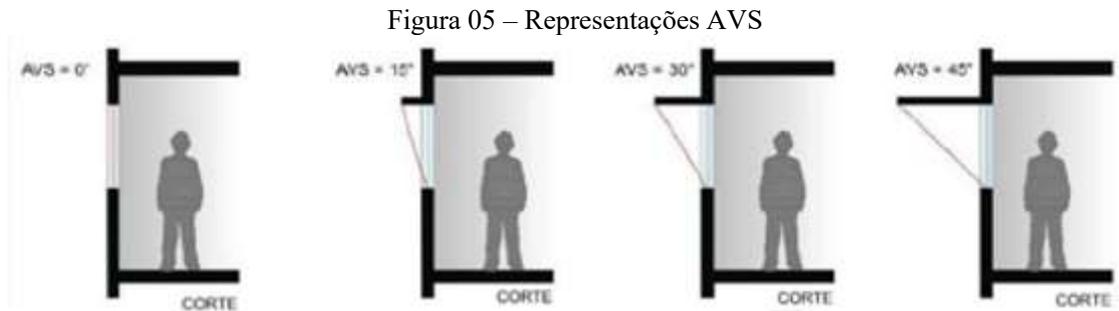
Carlo (2008) demonstra que o indicador de consumo é crescente com o aumento da área de aberturas. Em Santana (2006), o PAF destacou-se como a variável que apresentou maior influência na variação do consumo de energia: a cada 10% de aumento do PAF ocorreu um acréscimo no consumo de energia de 2,9%. Pessoa, Ghisi e Lamberts (2013), verificaram que a área ideal de abertura envidraçada está, geralmente, entre 10% e 40% da área de fachada, podendo aumentar em fachadas com menos exposição ao sol, com o aumento da profundidade do ambiente em relação à largura, e com o aumento de todas as dimensões do ambiente proporcionalmente. Obedecendo a esta proporção ideal entre a área de aberturas envidraçadas e a área de fachada, é possível obter o menor consumo energético dos sistemas de ar condicionado e iluminação artificial.

Fossati e Lamberts (2011) afirmam que orientação das fachadas é uma variável importante e atrelada ao percentual de abertura, uma vez que, se a orientação for favorável, as aberturas poderão possuir áreas maiores. Com os resultados obtidos percebe-se claramente que grandes percentuais de abertura na fachada oeste podem comprometer a eficiência da envoltória.

2.2.1.6 Ângulos de Sombreamento (AHS e AVS)

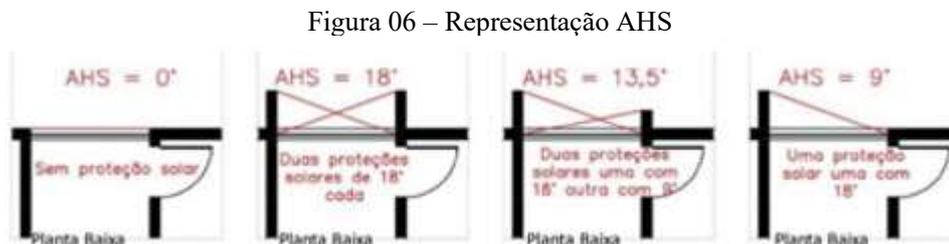
Os ângulos de sombreamento são formados pelos elementos horizontais e/ou verticais que protegem as aberturas da emissão direta de radiação solar por, pelo menos, um período do dia. No RTQ-C, estes são avaliados em Ângulo de Sombreamento Vertical (AVS), calculado em planta, e Ângulo de Sombreamento Horizontal (AHS), calculado em corte. O AVS é o ângulo formado entre dois planos, onde o 1° é o plano vertical na base da folha de vidro ou

material translúcido, e o 2º plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal, até a base da folha de vidro, ou material translúcido.



Fonte: PBE Edifica, 2013

Já o AHS, é o ângulo formado entre dois planos verticais, sendo o 1º plano o que contém a base da folha de vidro ou material translúcido, e o 2º formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposto na base da folha de vidro.



Fonte: PBE Edifica, 2013

Segundo o RTQ-C, os Ângulos Verticais de Sombreamento caracterizam o uso de proteções horizontais, enquanto que os Ângulos Horizontais de Sombreamento caracterizam o uso de proteções verticais. A edificação deverá ter um AVS e um AHS, que são calculados de forma ponderada pelas áreas das aberturas.

O AVS e AHS não possuem diferenciação entre os ambientes em que se localizam, o que dá liberdade ao projetista de compor estes elementos da forma que melhor convir para obter o resultado esperado, projetando sem levar em consideração o impacto real dos elementos propostos ou ainda projetar sem critério; nenhuma das formas citadas resulta efetivamente em uma melhora da qualidade do projeto. Carlo e Lamberts (2010) citam a impossibilidade de opção pela orientação correta devido ao grande número de terrenos sem condições para tal, fato comum nos centros urbanos.

Os autores colocam como atribuição do arquiteto a correta utilização e aplicação de estratégias de sombreamento. Porém, o regulamento não avalia se sua aplicação está correta ou não, o que pode comprometer inclusive a avaliação de eficiência da edificação. Em função dessa limitação do RTQ-C de não considerar a orientação, o AVS e o AHS podem não representar adequadamente o ganho de calor solar através das aberturas.

Segundo Galafassi (2012), as proteções solares externas são importantes na redução de ganhos térmicos, mas devem ser projetadas e dimensionadas de modo que não comprometam o aproveitamento da luz natural. O RTQ-C fixou um limite de 45º para os dois ângulos de sombreamento, na tentativa de minimizar o uso de proteções superdimensionadas que possam impedir a entrada de luz natural nos ambientes internos. Quanto maior o ângulo de sombreamento, maior será também o consumo de energia elétrica com iluminação artificial, porém, o consumo com condicionamento de ar tende a ser reduzido em virtude da diminuição das cargas térmicas providas pela radiação solar.

As proteções solares, representadas por meio dos ângulos vertical e horizontal de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução no indicador de consumo devido ao aumento do sombreamento e consequente redução da carga térmica ao aumentar o ângulo de sombreamento em relação à janela (CARLO, 2008). Ao analisar os *brises* horizontais, Santana (2006) demonstra que a cada 10° de aumento do ângulo vertical de sombreamento o consumo de energia decresce em 1,8%. Na avaliação de Fossati e Lamberts (2011), as proteções solares apareceram como segundo fator de maior influência na eficiência energética da envoltória. Quanto mais sombreadas forem as aberturas, maior o nível de eficiência atingido. Entretanto, observa-se que essa é uma estratégia pouco explorada nos edifícios de escritórios brasileiros.

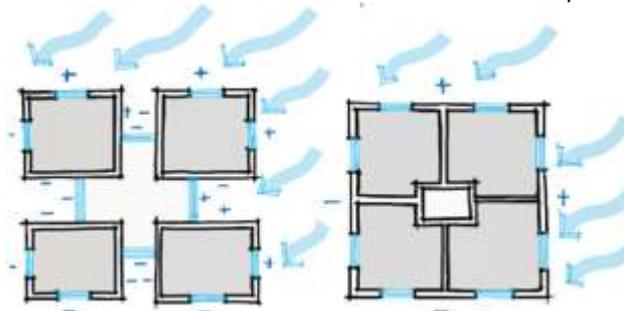
2.2.1.7 Fator de Forma (FF)

O Fator de Forma trata-se de um modo de expressar a relação entre a área de superfície externa do edifício, e o espaço interno útil, a fim de comparar edificações com diferentes volumetrias.

Neste quesito, o RTQ-C, em seu método prescritivo, possui também uma limitação quanto a avaliação do FF para edificações com volumetrias complexas. Carlo e Lamberts (2010) justificam essa limitação pela opção de basear a equação do RTQ-C apenas nos modelos representativos das edificações mais comuns no Brasil, não abrangendo as edificações com volumes pouco comuns, muito pequenos ou muito grandes, e que a volumetria da edificação é realmente uma limitação.

Durante o processo de projeto de um novo edifício, a definição da forma é um dos aspectos mais importantes a ser considerado, desde a concepção do projeto até a influência no entorno e no consumo de energia, com influência direta no desempenho energético de um edifício. Quanto mais compacta a forma de uma edificação, menor a superfície de contato para trocar com o meio, e menor a influência da área de fachada em relação ao seu volume interno e, portanto, mais eficiente a edificação. No entanto, ao valorizar o FF mais compacto, reduzindo as áreas de troca de calor por condução, pode ocorrer um prejuízo para a iluminação natural e a ventilação natural, conforme demonstrado na Figura 07, onde os modelos têm o mesmo volume e mesmo número de salas, mas possuem diferenças no FF.

Figura 07 – Efeitos do fator de forma sobre a iluminação natural



Fonte: PBE Edifica, 2013

Na visão de Fossati (2011), o regulamento poderia estimular estratégias bioclimáticas como, por exemplo, estratégias de ventilação. Essas estratégias promovem a troca de calor do ambiente e ajudam a diminuir a sensação de calor, estimulando um menor uso dos equipamentos de condicionamento de ar e diminuindo o consumo de energia.

Uma estratégia para minimizar este defeito do RTQ-C, é utilizar a premissa de que o regulamento não considera no cálculo de FF áreas utilizadas como garagem, ou que não são de permanência prolongada, adotando medidas para que estas possuam estratégias de aproveitamento de iluminação natural, e ventilação natural. Lamberts *et. al.*, 2004, afirma que

a forma da arquitetura influencia o conforto ambiental, bem como seu consumo energético, podendo facilitar ou dificultar a entrada dos fluxos de vento para o interior e a quantidade de luz natural e radiação que incidirão sobre a edificação. A entrada e circulação dos fluxos de vento fazem com que a sensação de calor no interior da edificação diminua e é um fator importante na redução do uso de condicionadores de ar, enquanto que o aproveitamento da luz natural reduz a utilização da iluminação artificial e o consumo de energia elétrica.

Carlo (2008) analisou modelos de edificações onde os consumos de energia foram apresentados em função do Fator de Forma e verificou que edificações menores consomem mais, conforme aumenta o FF. No entanto, o consumo pode ser maior se existir um sistema de condicionamento de ar mais eficiente usado para encobrir uma volumetria mal resolvida.

2.2.1.8 Fator de Altura (FA)

O Fator de Altura determina a razão entre a área de projeção da cobertura, e área total construída.

No estudo de Carlo (2008) foram feitas simulações considerando a possibilidade de se alterar os impactos da envoltória no consumo de energia, simulando, entre outras variáveis, como a volumetria influencia na alteração do consumo de eletricidade pela área. Neste estudo, foi constatado que Edificações com dimensões de plantas maiores e com muitos pavimentos, apresentam os menores consumos de energia elétrica pela área ao longo do ano, enquanto as edificações com as plantas menores e com um pavimento, ou até mais de um pavimento, tem um aumento significativo no consumo de energia elétrica.

Com relação à aplicabilidade do RTQ-C, os arquitetos entrevistados por Galafasse (2012), que já obtiveram edificações etiquetadas com nível A no item da Envoltória do Método Prescritivo, concordaram que o regulamento não atrapalhou seus processos projetuais, e serviu como uma maneira de complementá-los. Muitos dos critérios abordados pelo RTQ-C já são contemplados no processo de projeto e o regulamento aparece como uma maneira de garantir e atestar o que já é feito, além de agregar conhecimento para projetos futuros.

Em resumo, a visão destes entrevistados foi de que o RTQ-C influenciou positivamente em seu projeto e foi de fácil aplicabilidade para a envoltória, sendo dito inclusive que grande parte dos “passos” descritos no RTQ-C para a busca da certificação, ocorre de forma natural em suas concepções de projeto, não lhes bloqueando para novas alternativas, mas sim complementando e validando seus projetos junto aos clientes.

Entretanto, o RTQ-C gerou necessidade de ajustes em projeto, como orientação dos prédios, de forma a adequá-lo a uma orientação solar que favorece a classificação. Citaram-se alterações no tamanho das aberturas zenitais, posicionamento dos brises, as cores adotadas para a envoltória. Entretanto, apresentaram-se algumas questões conflitantes sobre o edifício, em relação as concepções de projetos atuais, no que diz respeito ao uso de mais aberturas, como os prédios de paredes envidraçadas, muito usuais em edifícios comerciais, que tendem a exigir a prioridade de questões estéticas, em detrimento das questões de eficiência.

Outra questão interessante apontada pelos entrevistados, foi que, até mesmo profissionais da área, necessitaram de consultores para a correta compreensão de algumas questões relativas ao RTQ-C, por não possui conhecimento de alguns termos utilizados na metodologia. Assim como as conclusões anteriores relativas a falta de critério na consideração da localização das proteções solares, esta mesma limitação foi apontada por um dos profissionais, que considerou uma falha bastante grave do regulamento, mas que para a execução de seus projetos, acaba sendo positivo, pois dá mais liberdade na formatação do mesmo.

Ficou bastante evidente, ao final do estudo, que muitos profissionais responsáveis pela elaboração dos projetos de arquitetura e estruturais de edificações, sequer conhecem o

regulamento e, dentre os que conhecem, muitos têm pouca familiaridade com seus termos. Esta limitação certamente prejudica a disseminação da aplicação do programa de etiquetagem nas edificações.

2.2.2 Sistema de Iluminação

Gastos com iluminação são responsáveis pelo consumo de 19% de toda a energia elétrica produzida no mundo, e a demanda por iluminação artificial está em constante crescimento. Segundo Pessoa, Ghisi, e Lamberts (2013), a demanda global por iluminação artificial será 80% maior em 2030, se o crescimento econômico mundial seguir segundo as tendências atuais. É fundamental, portanto, que estes sistemas sejam projetados de forma a potencializar sua eficiência. É com este intuito que o RTQ-C qualifica o nível de eficiência energética destes sistemas nas edificações.

Para a avaliação dos sistemas de iluminação, o RTQ-C utilizou como base o ASHRAE 90.1, adaptando algumas condições para o mercado brasileiro (CARLO; LAMBERTS, 2008). O parâmetro definido para mensurar o nível de eficiência é a densidade de potência instalada de iluminação (DPI), além da avaliação de 3 pré-requisitos: divisão dos circuitos, consideração da iluminação natural e desligamento automático para o sistema de iluminação.

Pré-requisitos do sistema de iluminação, a iluminação natural e controle de iluminação artificial são estratégias fundamentais para economia de energia elétrica em edificações. Rocha e Pereira (2011), avaliaram o consumo de energia elétrica em um ambiente interno, considerando o aproveitamento da luz natural e o uso de sistemas variados de controle de iluminação artificial e natural, por dimerização e controle ativo e passivo dos ocupantes. Na comparação dos sistemas de controle de iluminação artificial do modelo estático – cortinas abertas, foi detectada quase 80% de economia de energia em iluminação comparado ao sistema menos eficiente, principalmente com a introdução dos sistemas dimerizáveis. A carga de resfriamento nesta situação também diminuiu, provavelmente pela redução da potência usada nas lâmpadas. O uso de sistemas de controle de iluminação artificial integrados a luz natural resultou em economia de energia em todos os modelos e também influenciou nos resultados de condicionamento de ar, que apresentou seu consumo reduzido em torno de 10% devido a diminuição das cargas internas geradas pelo sistema de iluminação artificial (ROCHA; PEREIRA, 2011)

Nos estudos de BAKER e STEEMERS, 2002, foi averiguado que a escolha pelo controle poderia proporcionar, naquele momento, uma melhora de 30 a 40% no uso de iluminação, valor certamente mais significativo 17 anos depois, com o crescente avanço tecnológico. Galasiu (2007) apresentou um estudo de campo em um edifício real onde foram instalados diferentes tipos de controle de iluminação. Dependendo da combinação dos sistemas, foram constatadas economias de energia variando de 15 a 67% na carga de iluminação.

Além destes pré-requisitos, a eficiência de um sistema de iluminação é também influenciada pelos ocupantes do ambiente. No trabalho de Rocha e Pereira, 2011, notaram que o consumo em iluminação artificial, quando o ambiente foi ocupado por usuários passivos, foi duas vezes maior comparado ao consumo de um ambiente com ocupantes ativos. Este tipo de análise é de difícil visualização mitigação no método prescritivo, e pode ser considerado inclusive uma limitação na sua análise.

Outra estratégia importante para a eficiência de sistemas de iluminação são os dispositivos de sombreamento. Rocha e Pereira (2011), afirmam que uso adequado dos dispositivos de sombreamento pode melhorar o aproveitamento da luz natural, e impedir a incidência solar direta, diminuindo os efeitos de ofuscamento e brilho e os excessos de ganho de calor.

Quanto a sua aplicabilidade, existem alguns conflitos entre o RTQ-C e as práticas de mercado em projetos de iluminação foram reportadas. O método de avaliação do RTQ-C avalia com notas ruins projetos que usem luminárias com aletas, equipamentos necessários ao conforto visual, uma vez que são fundamentais para o controle de ofuscamento. O mesmo problema ocorre para ambientes multifuncionais, que têm uma grande potência de iluminação instalada para atender a mais de uma função, ainda que toda a iluminação não seja utilizada ao mesmo tempo. Neste ponto, Brendolan (2012), sugeriu que a área destes ambientes fosse multiplicada pelo número de funções exercidas, para efeito de avaliação.

Um terceiro problema apontado, diz respeito à pouca atenção do RTQ-C ao aproveitamento da luz natural, que só é contemplada ao exigir um circuito de acionamento independente para as luminárias próximas das aberturas, sem, entretanto, buscar um maior equilíbrio entre as estratégias de envelopagem para redução de trocar térmicas, e o aproveitamento de iluminação natural.

Existe ainda uma outra limitação do RTQ-C, referente ao uso de lâmpadas fluorescentes, em detrimento da tecnologia LED. As lâmpadas fluorescentes têm na sua composição o mercúrio, metal que apresenta um grande perigo para a saúde das pessoas e do meio ambiente, enquanto o LED é um equipamento eletrônico e não precisa de nenhum gás para funcionar, apenas uma fonte de energia. A quantidade de lúmens por Watt é outro diferencial na eficiência das lâmpadas, pois, para efeito de comparação, uma lâmpada fluorescente oferece 2350 lúmens em 32 W, enquanto uma lâmpada LED oferece 2100 lúmens em 18 W, o que caracteriza um produto 37% mais eficiente (lm/W). Entretanto, seu menor custo, eficácia, e diferenças relativas ao espaçamento luminoso, tornam este tipo de iluminação ainda muito utilizado em projetos luminotécnicos. Dessa forma, em alguns casos, a substituição de iluminação de lâmpadas fluorescentes por LEDs, como o exigido desde 2014 em prédios públicos, pode gerar uma queda no conforto dos ocupantes, e danos à saúde dos ocupantes do espaço.

Buscando avaliar as consequências da substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs tubulares, Ryckaert et al. (2012) avaliou a substituição de fluorescentes T8 36 W por LEDs tubulares. Como características iniciais, considerou-se a eficiência luminosa de 45-90 lm/W iguais para as T8 36 W e LEDs. Entretanto, as T8 36 W tiveram fluxo luminoso 44-57% maiores em relação aos tubos LEDs, variando de 1774-3350 lm para as T8 em relação a 754-1497 lm para LEDs. Os observadores do projeto avaliaram, e sentiram uma redução do conforto visual. Enquanto as T8 emitem luz em todas as direções, as substituições LEDs não aproveitaram o design das luminárias e refletores da mesma forma que as T8. Assim, apesar da maior eficiência das LEDs, e a economia obtida tenha atingido 70% com a substituição, ocorreu a queda de 50% da iluminância média, colocando a média abaixo do nível exigido por norma, com a simples substituição.

Como resultado, concluiu-se que há o risco de, principalmente em projetos *retrofits*, a substituição 1:1 de lâmpadas fluorescentes para LED'S não gerarem um nível de iluminação que gere conforto, devido a menor entrega de quantidade total de lumens a partir das luminárias, bem como a diferença no espaçamento de iluminação.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos, em 2012, procurou medir os impactos em diversas áreas do meio ambiente causados por estas tecnologias após fornecerem uma mesma quantidade de luz, medida em lumens-hora. Foram listadas quinze formas de impacto ambiental, incluindo impactos ao ar, água, terra e de recursos tóxico radioativos. Em suas conclusões, as LEDs avaliadas causaram aproximadamente 20% menos impactos que as fluorescentes compactas e consomem a mesma quantidade de energia para fornecer uma mesma quantidade de luz. Já os impactos das LED projetadas para 2017 são bem menores que estas últimas, cerca de 70% menores que das fluorescentes compactas. O alto desenvolvimento tecnológico das lâmpadas LED'S desde então vem fazendo com que essa tecnologia tome conta

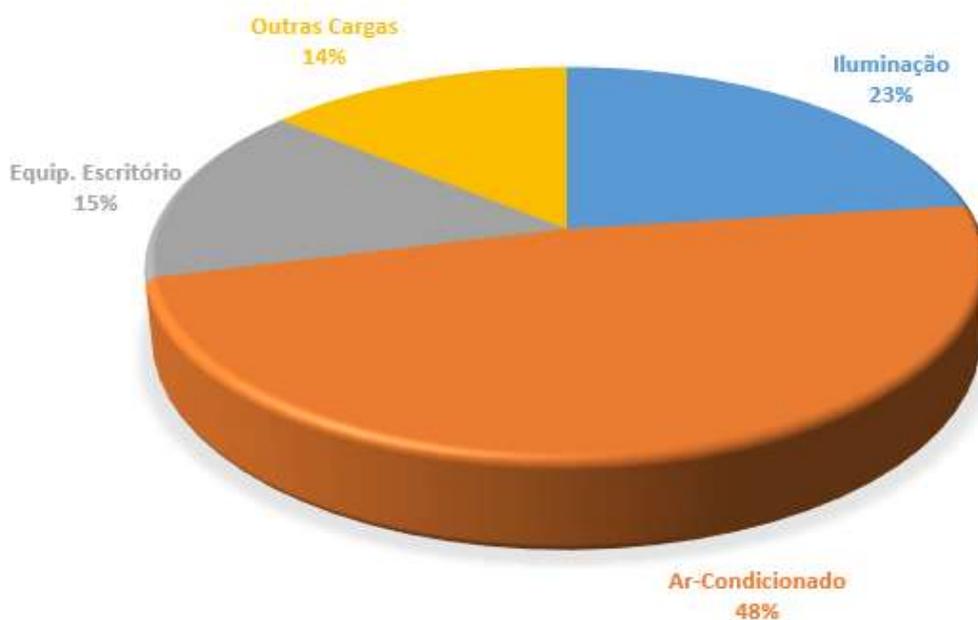
do mercado. Os modelos atuais reduziram significativamente a emissão de calor ao ambiente, melhoraram sua eficiência, e, com o aumento no número de opções disponíveis no mercado, vem reduzindo a margem de diferença do seu preço, apesar de, ainda hoje, seus preços serem superiores às demais tecnologias.

O trabalho conclui que se faz necessária uma compatibilização entre projetistas luminotécnicos, as normas regulamentadoras, e o RTQ-C. Os projetistas devem se familiarizar com as novas questões de eficiência energética, e o RTQ-C deverá ser mais flexível com os projetos luminotécnicos, permitindo que sua eficiência não inviabilize o conforto visual e até mesmo certos efeitos estéticos, porém, sempre buscando o equilíbrio com as questões sustentáveis.

2.2.3 Sistema de Condicionamento de Ar

O consumo de ar condicionado nas edificações, especialmente as de cunho comercial e de serviços públicos, é comprovadamente o maior consumidor de energia elétrica dentro de uma edificação, há muitos anos. Estudos realizados por Toledo (1995) em edifícios públicos e comerciais de Florianópolis mostram que o uso do ar condicionado atinge de 33 a 42% do consumo de energia elétrica, podendo chegar a até 67% em edifícios envidraçados. Mascarenhas et al (1995) analisou edifícios comerciais em Salvador, e conclui que o ar condicionado representou neste caso 64% do consumo de energia. Já, Lomardo (1998) verificou que no Rio de Janeiro existem edifícios comerciais que consumiam até 25% de energia elétrica com ar condicionado. Mais recentemente, um estudo da Empresa de Pesquisa Energética, mostrou que o consumo de energia elétrica por condicionadores de ar no setor residencial mais que triplicou nos últimos 12 anos, e a compra de novos aparelhos por residências subiu 9% ao ano entre 2005 e 2017, duplicando o número de aparelhos na casa dos brasileiros. Em 2007, representava aproximadamente 3% do consumo nacional de energia.

Gráfico 02 – Distribuição do consumo por uso final em prédios públicos



Fonte: ELETROBRÁS, 2018 (Adaptado)

De acordo com a NBR 16401, o condicionamento de ar é o processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, umidade, a movimentação, renovação, e qualidade

do ar em um ambiente. No RTQ-C, a avaliação do sistema de condicionamento de ar ocorre pela avaliação do nível de eficiência dos equipamentos, avaliando adicionalmente, a título de pré-requisito para avaliação em etiqueta A, o isolamento dos dutos, e o condicionamento por aquecimento artificial. Em caso de existirem ambientes sem condicionamento artificial, é necessário comprovar, através de simulações, que a ventilação natural condiciona os ambientes durante um período pré-determinado.

2.3 NBR 8995 E O CONFORTO VISUAL DOS AMBIENTES

A NBR 8995, 2013, foi uma atualização à antiga norma de iluminação vigente, NBR 5413, e foi desenvolvida com o intuito de considerar mais parâmetros na avaliação de qualidade de iluminação oferecida aos ambientes internos de diferentes segmentos. Segundo Pessoa, Ghisi, e Lamberts (2013), o Brasil não exercia ainda o controle sobre muitos aspectos de qualidade dos produtos de iluminação como índice de reprodução de cores, temperatura de cor e manutenção de cor. A NBR 8995, passou a estipular, além dos níveis mínimos de iluminância, medidas pela unidade lux (lx), na área de tarefa, limitante de ofuscamento, valores mínimos para o índice geral de reprodução de cores, recomendações de projeto para o tratamento da luz natural, e recomendações quanto à manutenção (ABNT, 2012). Para ambientes com realização de diferentes atividades, a NBR 8995 apresenta limites máximos ou mínimos para cada um destes parâmetros, como forma de obter conforto visual que permitam aos ocupantes a realização de suas atividades sem danos à saúde.

A NBR 8995 define ofuscamento como a sensação produzida por áreas excessivamente brilhantes, ou diferenças excessivamente marcadas na luminância dentro do campo de visão de um observador. Pode ser classificado em inabilitador, quando causa deficiência direta da visão, ou desconfortável, quando prejudica o senso de bem-estar. Kawasaki (2011) afirma que este parâmetro é de fundamental importância de controle, uma vez que pode causar problemas visuais, e até mesmo acidentes. Para controle do ofuscamento, a norma brasileira adotou o parâmetro UGR (*Unified Glare Rating* ou Índice de Ofuscamento Unificado), especificando valores máximos permitidos em diferentes tipos de aplicações. A escala UGR determinada pela norma é: 13 - 16 - 19 - 22 - 25 - 28. Cada passo na escala, representa uma mudança significativa no efeito do ofuscamento e 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível.

Atualmente, uma das estratégias mais utilizadas no controle de ofuscamento são as instalações de luminárias aletadas. Neste modelo, as luminárias possuem aletas dispostas em série, de modo a impedir uma visão direta das lâmpadas, através de faixas de ângulos. Além de ser um elemento anti-ofuscante, as aletas contribuem na distribuição do fluxo luminoso, junto com o refletor, em luminárias mais modernas (LUMINARE, 2016).

Para a medição dos níveis de iluminância de interiores com áreas retangulares, a NBR 5382 apresenta uma metodologia específica, com os pontos a serem medidos em um plano horizontal, proveniente da iluminação geral. Nesta norma, apresentam-se os fatores a serem descritos em uma medição (refletância, tipo de lâmpada, voltagem, e instrumento utilizado), o cálculo da iluminância média destas medições (média aritmética dos pontos medidos em uma área), e os pontos a serem medidos, de acordo com a característica do campo de trabalho e do padrão de distribuição das luminárias. Já a norma NBR 15215 aborda a metodologia de medição da iluminação natural, abordando também as variáveis a serem consideradas, pontos de medição, e valores limites.

De acordo com Leite (2013), “O foco do PBE Edifica é a redução do consumo de energia elétrica”. As características visuais do ambiente luminoso ficam sob o regulamento de normas de projeto que determinam parâmetros como por exemplo, a iluminância necessária de acordo com a atividade em cada ambiente. Isto pode se configurar um problema, pois pode

levar ao projetista a necessidade de escolher por resultados referentes à conforto e saúde, algo abordado pela NBR 8995, e ter de abdicar da busca por níveis correspondentes à classe de eficiência pretendida, de acordo o RTQ-C. Faz-se necessário, portanto, uma análise mais aprofundada para o método de avaliação do sistema de iluminação do RTQ-C que considere as especificidades da NBR 8995 (ABNT, 2013).

3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram subdivididos em objetivo geral e objetivos específicos, conforme segue.

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo é avaliar o atual nível de eficiência energética do *Campus* da Universidade Federal de Santa Catarina localizado no Bairro Mato Alto, em Araranguá-SC, através da aplicação do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços, e Públicos (RTQ-C) e, por fim, verificar se a edificação oferece conforto visual e térmico aos seus ocupantes.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Determinar o nível de eficiência energética da Edificação em estudo, através da aplicação do RTQ-C;
- Analisar a aplicabilidade e a efetividade do RTQ-C;
- Avaliar se a iluminação da edificação respeita a norma NBR-8995, que trata da iluminação em ambientes de trabalho;
- Identificar possíveis melhorias para a edificação, que permitam melhorar sua eficiência energética, e gerar um bom nível de conforto ambiental a seus integrantes.

4 METODOLOGIA

A realização do presente estudo demandou algumas atividades, que seguiu uma linha cronológica pré-definida, para posterior desenvolvimento, e avaliação dos resultados.

4.1 OBTENÇÃO DOS PROJETOS DE EDIFICAÇÃO

As etapas de aplicação do RTQ-C, e a simulação luminotécnica, necessitavam de dados que constam no projeto da edificação. Para poder prosseguir o estudo, foi necessário buscar, junto ao Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE) da UFSC, os projetos de iluminação, de climatização, e os projetos arquitetônicos da edificação, junto de seus memoriais descritivos.

4.2 VISITA TÉCNICA *IN LOCO*

Recebidos os projetos, jugou-se necessária a realização de uma visita técnica à edificação, buscando verificar se ocorreram alterações nos sistemas projetados, incluindo alterações nas disposições, quantidade e tipos de luminárias ou lâmpadas, número e especificação dos condicionadores de ar, e alterações na parte construtiva da edificação. Esta atividade serviu também para medições dos níveis de iluminância dos ambientes.

Para a medição dos níveis de iluminância, foi utilizado o Luxímetro Instrutherm LD-300, apresentado a seguir, na Figura 08:

Figura 08 – Luxímetro Instrutherm LD-300



Fonte: Autor

Este luxímetro possui uma escala de medição entre 10 e 50000 lx. Através da sonda foto-sensora ligada ao display, ela realiza a captura do valor de iluminância do ponto medido, de forma sensorial. Sua calibração é avaliada em cerca de 98% de precisão, segundo dados do fabricante.

Já para possíveis alterações de layout, fez-se uso da trena a laser Bosch Professional GLM 40, apresentada na Figura 09:

Figura 09 – Trena a laser Bosch Professional GLM 40



Fonte: Autor

Esta trena possui capacidade de medição entre 15 centímetros e 40 metros, com precisão típica de +/- 1,5mm.

4.3 ATUALIZAÇÃO DOS PROJETOS DA EDIFICAÇÃO

Em alguns dos ambientes da edificação, foram verificados pontos a serem atualizados no projeto. Dessa forma, realizou-se, com o auxílio do *software* AutoCAD, a atualização dos projetos da edificação, de forma a torná-los válidos para a aplicação da metodologia de etiquetagem, e a simulação luminotécnica.

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DE ETIQUETAGEM

Com os projetos devidamente atualizados, utilizou-se a metodologia descrita pelo RTQ-C, para aplicação do método prescritivo de etiquetagem de edificações. Todos os procedimentos de cálculo foram realizados através de tabelas formuladas no Microsoft Excel 2016, de autoria própria do autor, e verificados posteriormente através do *software* WebPrescritivo, programa elaborado pela PBE Edifica, para aplicação do método.

Para a determinação de eficiência de cada um dos sistemas, foram aplicados os passos descritos nas subseções a seguir.

4.4.1 Análise dos Pré-Requisitos Gerais

Antes da determinação dos níveis de eficiência de cada sistema em separado, e a aplicação da equação geral de eficiência da edificação, fez-se necessária a avaliação dos pré-requisitos gerais da metodologia, que tratam da divisão de circuitos, e do aquecimento de água.

Em relação ao primeiro pré-requisito, relativo a divisão de circuitos, o RTQ-C exige que, para edificações que busquem obter etiqueta geral níveis A ou B, é obrigatório que os circuitos sejam separados por uso final. Ou seja, que os sistemas de iluminação, condicionamento de ar, dentre outros, possuam alimentações por circuitos diferentes, de forma que possam ser medidos, ou desativados, sem gerar contrastes nos sistemas adjacentes. Para a edificação em estudo, foi necessário averiguar, *in loco*, o cumprimento deste pré-requisito.

Já em relação ao aquecimento de água, o RTQ-C exige que, em edificações que possuam uma contribuição de mais de 10% do seu consumo de energia proveniente do uso de água quente, existam sistemas que contribuam totalmente ou parcialmente a essa demanda. Entretanto, como na edificação em estudo este pré-requisito não se aplica, não ocorreram atividades que se relacionem a essa etapa. Avaliados os pré-requisitos gerais, o próximo passo é a avaliação de cada subsistema.

4.4.2 Envoltória

Para a avaliação da envoltória, o primeiro passo foi identificar qual a equação do Índice de Consumo (IC_{ENV}) que se aplica para a edificação em estudo. Isso porque, para cada Zona Bioclimática, existem duas equações, sendo uma com Área de Projeção de Edificação (A_{PE}) maior de 500 m², e outra para um A_{PE} menor de 500 m². A A_{PE} é a área média de projeção dos pavimentos é dada pela equação (1).

$$A_{PE} = \frac{\sum A_{PV}}{N_{PV}^0} \quad (1)$$

Onde,

A_{PV} – Área de um pavimento

N_{PV}^0 – Número total de pavimentos.

Além disso, as equações possuem um pré-requisito específico relativo ao Fator de Forma (FF) da edificação. Para as edificações com área de projeção menores de 500 m², há um fator de forma (FF) mínimo a ser obtido. Já para as edificações com área de projeção superior a 500 m², existe um FF máximo a ser respeitado. Caso a edificação apresente um valor que ultrapasse ou não alcance o FF solicitado, deve-se utilizar o Fator de Forma limite, ou optar pela metodologia de simulação. O Fator de Forma é uma relação entre a área de envoltória (A_{ENV}), e o volume total da edificação (V_{TOT}). Portanto:

$$FF = \frac{A_{ENV}}{V_{TOT}} \quad (2)$$

Por área de envoltória, entende-se a soma das áreas efetivas de fachadas, empenas, e coberturas. Já o volume total é delimitado pelos fechamentos externos da edificação, com exceção de pátios internos descobertos.

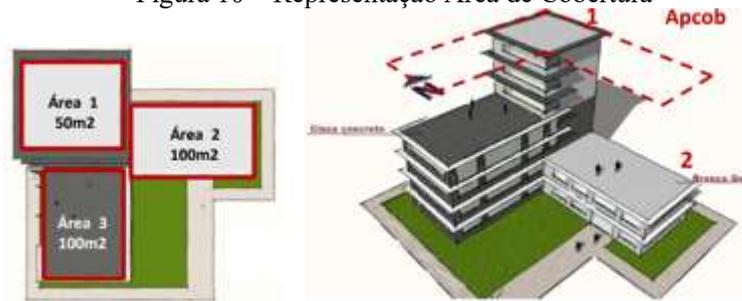
Após a verificação do cumprimento dos requisitos para utilização de respectiva equação do índice de consumo, foram realizados os cálculos dos demais parâmetros necessários para o cálculo do IC_{ENV} .

O Fator de Altura da edificação, segundo o RTQ-C, tem seu valor determinado pela razão entre a área de projeção da cobertura (A_{PCOB}), e a área total construída (A_{TOT}):

$$FA = \frac{A_{PCOB}}{A_{TOT}} \quad (3)$$

A área total de piso refere-se às áreas de piso dos ambientes fechados da construção. Já a área de projeção da cobertura, trata-se de toda a projeção de cobertura que circunda a área interna da edificação. Marquises, beirais, e coberturas sobre varandas que estejam fora do alinhamento do edifício, não são contabilizadas. A Figura 10 mostra um exemplo de projeção de cobertura:

Figura 10 – Representação Área de Cobertura

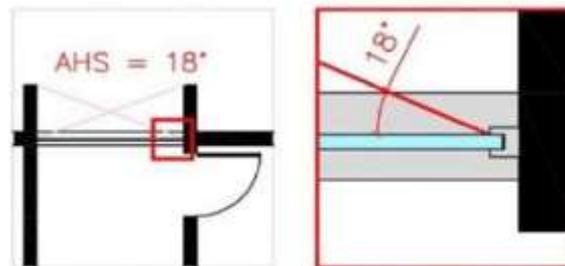


Fonte: PBE Edifica, 2013

Outro parâmetro de cálculo é o Percentual de Abertura de Fachada, que se trata de valor percentual, obtido pela razão entre a área de abertura de cada fachada, e sua área total de fachada. Para este parâmetro, o RTQ-C determina que se compare o percentual de abertura de fachada total (PAF_T), com o percentual de abertura da fachada oeste (PAF_O) e, em caso de o PAF_O obtido for 20% maior do que o PAF_T , é o PAF_O que deve ser considerado na equação que determina o IC_{ENV} .

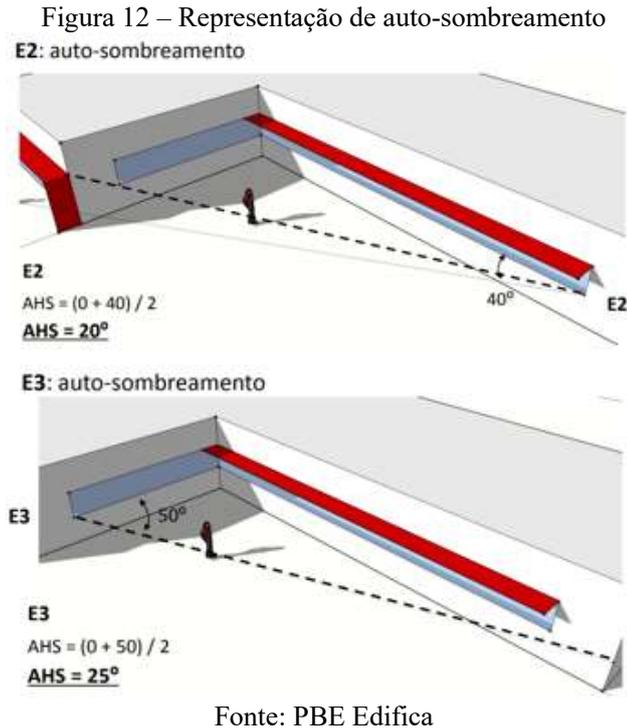
Ainda em relação aos cálculos, devem ser obtidos os ângulos de sombreamento vertical (AVS) e horizontal (AHS) da edificação. Os parâmetros AHS e AVS são calculados entre o ponto mais distante da parede da abertura, e o ponto da abertura que esteja mais distante do elemento de sombreamento. Realizados os cálculos separados de cada ângulo, faz-se a média dos ângulos, ponderados pela área de abertura que os mesmos sombreiam, para a obtenção de um valor resultante. O RTQ-C determina que o valor limite para estes parâmetros é 45° . Em caso de ultrapassagem deste valor, utiliza-se 45° na equação. Em relação ao AHS, o RTQ-C explica que devem ser desconsideradas as esquadrias de janelas e portas, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Representação de cálculo do AHS desconsiderando esquadrias



Fonte: PBE Edifica, 2013

Além disso, os elementos da edificação que gerem auto-sombreamento em aberturas destas edificações, também entram na contabilização dos ângulos de sombreamento. A Figura 12 apresenta um exemplo de auto-sombreamento.



Existe ainda a necessidade de se determinar o Fator Solar (FS) dos elementos transparentes e translúcidos da edificação, que são valores encontrados geralmente na especificação dos elementos, junto aos fabricantes.

Determinados todos estes valores, partiu-se para a aplicação da equação do índice de consumo da envoltória, que fora determinada anteriormente. O resultado obtido é então comparado a uma escala numérica dividida em intervalos, que classificam a envoltória entre nível A, e nível E. O limite máximo, ou $IC_{máxD}$, é calculado com a mesma equação, mas com parâmetros determinados pelo RTQ-C. Este parâmetro representa o índice de consumo máximo que a edificação pode atingir, para a obtenção da classificação D. Desta forma, em caso de o IC_{ENV} calculado exceder este valor, a edificação recebe etiqueta nível E. A Tabela 04 apresenta os parâmetros para o cálculo do $IC_{máxD}$:

Tabela 04 – Parâmetros do $IC_{máxD}$.

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

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

Realizado o cálculo do $IC_{máxD}$, calculou-se o limite mínimo $IC_{mín}$, com a mesma equação, mas novos parâmetros fornecidos pelo RTQ-C. A Tabela 05 apresenta os parâmetros para o cálculo do $IC_{mín}$:

Tabela 05 – Parâmetros do $IC_{mín}$.

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

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

O $IC_{mín}$ representa o menor valor de índice de consumo que a edificação pode atingir. Trata-se, além de um limite para a determinação dos intervalos de classificação, como um fator de validação do valor de IC_{ENV} , uma vez que, se o valor encontrado for menor do que o $IC_{mín}$ encontrado, as equações utilizadas, ou parâmetros calculados, foram feitos de maneira incorreta.

Com a obtenção destes dois parâmetros, realizou-se o cálculo dos intervalos de classificação, através de intervalos calculados em forma de média da diferença entre o $IC_{máxD}$ e o IC_{min} , dividido por 4, que geraram, portanto, os intervalos para obtenção dos diferentes níveis de eficiência energética da envoltória. A equação (4) apresenta o cálculo de delimitação dos intervalos:

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{min})}{4} \quad (4)$$

A Tabela 06 apresenta os limites dos intervalos dos níveis de eficiência energética:

Tabela 06 – Limites dos intervalos de eficiência energética

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Limite Máximo	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

Finalmente, comparou-se o IC_{ENV} obtido, com os limites da Tabela 06, definindo o nível de eficiência energética obtido, antes da avaliação do cumprimento dos pré-requisitos específicos da envoltória da edificação. O cumprimento dos pré-requisitos valida a classificação obtida. O não cumprimento pode gerar um rebaixamento de etiqueta, caso a etiqueta obtida necessite o cumprimento de algum destes pré-requisitos.

O primeiro pré-requisito a ser avaliado foi o Percentual de Aberturas Zenitais da cobertura da edificação, necessário para edificações que obtenham etiqueta de nível A ou B. De acordo com o PAZ da edificação, existem limitações referentes ao FS dos elementos transparentes ou translúcidos da cobertura. No caso da edificação em estudo, entretanto, não se verificaram elementos translúcidos e/ou transparentes, de forma que este pré-requisito não se enquadra na avaliação. A Tabela 07 apresenta a relação entre o PAZ, e o FS máximo:

Tabela 07 – Limite de FS de vidros da cobertura, em relação a abertura zenital para cobertura

PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

Existem ainda os pré-requisitos relativos a composição dos materiais da envoltória da edificação, que são a transmitância térmica (U), relativa aos materiais opacos, e absorvância da edificação (α), relativo às vedações das fachadas e coberturas, e aos elementos transparentes e translúcidos. Estes parâmetros possuem valores máximos para paredes e cobertura, de acordo com a zona bioclimática em que estejam inseridos, e ao tipo de ambientes interno que revestem (condicionado, ou não condicionado).

Em caso de componentes de envoltória com diferentes valores de transmitância e absorvância, é necessário realizar a ponderação dos valores com suas respectivas áreas, definindo um valor global para a edificação em um todo. Obtidos estes valores, verifica-se o cumprimento ou não dos valores de pré-requisito para cada nível de eficiência, e obtém-se o nível de eficiência energética global do ambiente. Os materiais de coberturas de garagens, casa de máquinas, e reservatórios de água não são considerados para estes cálculos. A transmitância possui limites a serem obtidos para os níveis A, B, C e D. Já a absorvância é um pré-requisito apenas da obtenção da etiqueta de nível A.

Finalmente, após a avaliação do cumprimento dos pré-requisitos, foi possível determinar o nível de eficiência da envoltória, e atribuir o Eq.NumENV, que é o equivalente numérico relativo a envoltória, utilizado no cálculo da equação global, para determinação de

eficiência energética geral da edificação. Este equivalente é obtido em uma relação direta com o nível de eficiência do sistema, como apresenta a Tabela 08:

Tabela 08 – Equivalente numérico a ser utilizado para cada nível de Eficiência obtido por cada sistema

Nível de Eficiência	Eq.Num
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

4.4.3 Sistema de Iluminação

Para a avaliação do sistema de iluminação da edificação, utilizaram-se as pranchas dos sistemas de iluminação devidamente atualizadas, além das plantas baixas, e do memorial descritivo do sistema.

Primeiramente, fez-se necessário verificar o atendimento, ou não, dos pré-requisitos exigidos pelo RTQ-C, em relação à divisão de circuitos, e aproveitamento da iluminação natural.

Com relação à divisão dos circuitos, o RTQ-C estabelece que, para edificações que busquem um nível de eficiência entre A e C, cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto, deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna deste ambiente. Este controle deve estar localizado de tal forma que, ao ser acionado, seja possível verificar todo o sistema de iluminação que está sendo controlado. Existem ainda variações ao número de controles para áreas maiores de 250 m², porém, nenhum ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto, nesta edificação, possui uma área deste tamanho.

Já sobre o aproveitamento da iluminação natural, o RTQ-C exige que ambientes que busquem níveis A e B de eficiência, com abertura(s) voltada(s) para o ambiente externo, ou átrio não coberto ou de cobertura translúcida, e que possuam mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, possuam um sistema de controle que acione independentemente a fileira de luminárias mais próxima à abertura, de forma a evitar a utilização desta(s) fileira(s) de luminária(s) durante os períodos em que se possa aproveitar a iluminação natural.

Por fim, para edificações que busquem etiqueta nível A, e possuam ambientes externos com área igual ou maior do que 250 m², o RTQ-C exige que exista um sistema de desligamento automático da iluminação nestes ambientes. Porém, como já afirmado, na edificação em estudo não existem ambientes com áreas iguais ou maiores a 250 m², de forma que este pré-requisito não aplica a edificação em estudo.

Avaliados os pré-requisitos, a próxima etapa foi determinar, dentre as duas metodologias de cálculo do sistema de iluminação, descritos no RTQ-C, qual a metodologia a ser aplicada na edificação em estudo.

O RTQ-C apresenta inicialmente a metodologia da área do edifício, e recomenda-se que esta seja utilizada apenas em edifícios com no até três atividades principais, ou atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. No caso do campus da UFSC, esta metodologia poderia ser de fato utilizada. Entretanto, como o presente estudo pretende comparar não apenas a avaliação geral do sistema de iluminação, mas o de diferentes áreas e atividades, foi escolhida a segunda metodologia, o método das atividades do edifício.

Na metodologia das atividades do edifício, a avaliação dos ambientes é feita de forma separada. Inicialmente, identificou-se as atividades encontradas no edifício, de acordo com a tabela disponibilizada no próprio RTQ-C. Para cada atividade, existe uma densidade de potência específica (DPI_L) a ser considerada, para cada nível de eficiência.

Após a identificação das atividades, calculou-se a área iluminada ocupada por cada atividade, e a potência instalada, em watts, dos ambientes de cada atividade. Em caso de a iluminação ser composta por luminárias com lâmpadas de LED, basta buscar em catálogos a potência da lâmpada, e multiplicar pelo número de lâmpadas semelhantes no local. Já para luminárias com lâmpadas fluorescentes, a potência de cada luminária é dada pela equação (5):

$$P(W) = N_l * P_l + P_r \quad (5)$$

Onde,

N_l = Número de Lâmpadas;

P_l = Potência de cada Lâmpada;

P_r = Potência das perdas no reator;

$P(W)$ = Potência Instalada em uma luminária.

Para a determinação do nível de eficiência referente aos ambientes de uma atividade, bastou dividir a potência total instalada nas áreas referentes aquela atividade, pela área total da atividade, comparando a densidade de potência daqueles ambientes, pela densidade de potência limite de cada nível.

Já para determinação do nível de eficiência global do sistema, foi realizada a multiplicação da área iluminada de cada atividade, pela densidade limite de potência de cada atividade, o que resultou nos valores de potência limite da edificação para cada ambiente. Após isso, soma-se a potência instalada total da edificação, para que seja possível verificar qual o nível de eficiência energética do sistema. Dessa forma, o Eq.NumDPI foi estabelecido, seguindo a relação apresentada na Tabela 08.

4.4.4 Condicionamento de Ar

Para a avaliação do sistema de climatização, o primeiro passo foi levantar as especificações de todos os equipamentos presentes na edificação. Após isto, foi necessário identificar se estes equipamentos são regulamentados pelo INMETRO, para a obtenção de seus níveis de eficiência através das tabelas do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), ou se são aparelhos não regulamentados, os quais devem ter seu nível de eficiência determinados através do cálculo de seu COP, e comparados às tabelas de referências, disponibilizado pelo RTQ-C.

O RTQ-C possui uma descrição extremamente simplória e ineficiente sobre o procedimento de determinação de eficiência do sistema de condicionamento de ar, quando os aparelhos são tabelados pelo INMETRO. Não há nenhuma metodologia apresentada, além do seguinte exposto: “Deve-se adotar a classificação da ENCE obtida nas Tabelas do PBE/INMETRO e identificar o equivalente numérico na Tabela 2.2.” (RTQ, 2013). A Tabela 2.2 citada, é equivalente à Tabela 08 apresentada no presente estudo. Esta é, sem dúvida, uma limitação do regulamento, e influencia qualquer estudo que seja realizado seguindo a metodologia prescritiva do RTQ-C, uma vez que, como não se aborda de forma clara o procedimento de determinação da eficiência, cada estudo pode utilizar um método diferente, e obter resultados diferentes para condições semelhantes.

O presente estudo utilizou a metodologia apresentada no trabalho de Lamberts et al (2015), que está entre os materiais de exemplo no site do PBE Edifica, em que se realizou a

aplicação do método prescritivo em um edifício exemplo. Neste estudo, a determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar, com aparelhos etiquetados pelo PBE, utilizou uma ponderação entre a potência instalada total (Em BTU/h), e a potência instalada entre os aparelhos de cada nível de eficiência (Em BTU/h), multiplicando o valor por seu equivalente numérico, que vai de acordo com exposto na Tabela 08.

Assim, a fórmula para ponderação de um aparelho de ar-condicionado é dada pela equação (6):

$$EqNum_{nP} = \frac{P_n}{P_T} * Eq.Num_n \quad (6)$$

Onde,

$EqNum_{nP}$ – Equivalente numérico do aparelho, ponderado;

P_n – Potência do aparelho (BTU/h);

P_T – Potência total do sistema de climatização (BTU/h);

$EqNum_n$ – Equivalente numérico do aparelho a ser ponderado.

Realizadas as ponderações, efetuou-se a soma de todos os equivalentes ponderados, obtendo o equivalente numérico global do sistema de climatização. Este equivalente foi comparado com os limites apresentados pelo RTQ-C na Tabela 08, para determinar o nível de eficiência do sistema global.

Em caso de obtenção de um equivalente numérico de nível A, é necessária a avaliação de pré-requisitos específicos do sistema, relativos ao isolamento de dutos, e aquecimento de ar por aquecimento artificial.

4.4.5 Determinação da eficiência energética da edificação

Realizadas as avaliações dos sistemas individuais, deve-se finalmente aplicar os resultados na equação global da eficiência energética da edificação, para que se obtenha finalmente o nível de eficiência global do sistema. Em caso de existirem ambientes não condicionados, e de permanência prolongada, deve-se ainda, através de simulações, comprovar que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um determinado percentual de horas. Além disso, para ambientes com sistemas próprios de geração de energia, ou que possuam um sistema de aquecimento alternativo de água, no caso de edificações com elevado consumo de água quente, podem-se obter bonificações de até 1 ponto na pontuação final. Entretanto, para o edifício em estudo, todos os ambientes de permanência prolongada possuem climatização artificial, e não há um grande consumo de água, nem sistema próprio de geração, de forma a obter-se bonificações. Dessa forma, a equação a ser aplicada é a equação (7):

$$PT = 0,30 * \left[\left(Eq.NumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 \right) \right] + 0,30 * (Eq.NumDPI) + 0,40 \left[\left(Eq.NumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 \right) \right] \quad (7)$$

Onde,

$Eq.NumEnv$ – Equivalente Numérico da Envoltória;

$Eq.NumDPI$ – Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação;

$Eq.NumCA$ – Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar;

APT – Área útil de permanência transitório, não condicionada;

AC – Área útil dos ambientes condicionados;

AU – Área útil.

Todos os Equivalentes Numéricos são obtidos de acordo com as metodologias de cada sistema, exposto anteriormente, e se tratam dos resultados finais do nível de eficiência encontrado em cada sistema. As razões entre áreas condicionadas e área útil, como área não condicionada de permanência transitória, sobre área útil, foram formas idealizadas e verificadas através de simulação, para conseguir ponderar corretamente as contribuições entre o sistema de condicionamento de ar, e a ventilação natural, quando houver.

Com o resultado obtido, ocorre a comparação com os limites de PT para cada classe de eficiência energética, para a determinação do nível de eficiência energética da edificação. A Tabela 09 apresenta os limites:

PT	Classificação Final
≥4,5 a 5	A
≥3,5 a <4,5	B
≥2,5 a <3,5	C
≥1,5 a <2,5	D
<1,5	E

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

4.4.6 Comparação dos resultados obtidos, com o Webprescritivo

O PBE Edifica descreve o Webprescritivo como um serviço de avaliação da ENCE pelo método prescritivo em edifícios comerciais, públicos, e de serviços. O Programa foi desenvolvido pelo LABEEE, em parceria com a Eletrobrás e o CB3E, e não é um programa utilizado para a obtenção real da ENCE, mas para simular as classificações de edificações. Nele, o usuário fornece os parâmetros de projeto e obtém a ENCE parcial para os três sistemas, e a etiqueta geral.

Com esse programa, foi possível avaliar se os procedimentos adotados pelos cálculos em tabelas de formulação própria condizem com os resultados obtidos através do procedimento adotado pelo Webprescritivo, que foi elaborado pelos idealizadores do Programa Brasileiro de Etiquetagem das edificações brasileiras.

4.5 SIMULAÇÃO LUMINOTÉCNICA

A fim de verificar se os ambientes oferecem conforto visual aos seus ocupantes, foi realizada a simulação luminotécnica de alguns ambientes da edificação, buscando analisar se estes ambientes cumprem os requisitos abordados pela norma regulamentadora NBR 8995, na configuração atual, que foi levantada através da visita *in loco*, e atualizada em projeto.

Para essa simulação, foi utilizado o *software* DiaLux EVO, versão 7.1. Além disso, para fins de validação dos resultados, os resultados foram comparados com medições realizadas em pontos específicos dos ambientes, com o auxílio do luxímetro modelo Instrutherm LD-300, apresentado anteriormente na Figura 10, que permite a medição da iluminância de diferentes pontos do ambiente, de forma sensorial.

O DiaLux é um *software* gratuito, desenvolvido na Alemanha, e permite a simulação estática da iluminação. Apresenta uma interface de fácil compreensão, com uma linha lógica de desenvolvimento de projeto, e permite que cada ambiente seja projetado com suas características individuais, como por exemplo a determinação de pé-direito, comprimento, largura, além dos índices de reflexão das paredes, do piso, e do teto.

Em relação ao sistema de iluminação dos ambientes, o *software* determina o nível de iluminação a partir de luminárias catalogadas pelas principais fornecedoras do mercado. Para

cada modelo, é apresentado a curva de iluminação, a potência, a luminância oferecido pela luminária, bem como o Índice de Reprodução de Cores (IRC). Estes valores também podem ser editados, em caso de a luminária a ser simulada possua estrutura semelhante, mas parâmetros diferentes. Este software validado pela *Comission International de l'Elairage* (CIE) como um *software* referência na elaboração de projetos luminotécnicos.

Em uma análise completa dos sistemas de iluminação, deve-se sempre considerar o aproveitamento de iluminação natural, de forma a proporcionar controle da mesma para que sua contribuição seja positiva. Entretanto, o presente estudo trata de analisar exclusivamente o sistema de iluminação artificial da edificação. Por isso, não se considerou o aproveitamento da iluminação natural.

Os parâmetros avaliados foram a iluminância média dos ambientes, a iluminância média dos planos de trabalho, e o fator de regularidade. O nível de ofuscamento dos sistemas já é regulado pela própria luminária, que é aletada, o que gera uma melhor difusão do fluxo luminoso, impedindo a visualização direta da lâmpada. Já o índice de reprodução de cores é uma das variáveis que podem ser editadas na especificação das luminárias, e é também um dado catalogado. Assim, este dado de entrada pode ser analisado, de forma a avaliar se seus valores para as luminárias utilizadas na simulação estão de acordo com o estabelecido pela NBR 8995.

4.6 DISCUSSÃO DE POSSÍVEIS MELHORIAS DA EDIFICAÇÃO

Finalmente, foram propostas e discutidas algumas medidas a serem adotadas nos sistemas de condicionamento de ar e iluminação, que possam melhorar a classificação de edificação em relação ao seu nível de eficiência energética, na metodologia de avaliação do RTQ-C.

Uma premissa secundária desta atividade foi a de identificar possibilidades concretas de melhorias, que demandem pouca ou nenhuma alteração estrutural, nem custos elevados ou considerados de difícil obtenção, levando em conta a atual situação econômica do país, e a morosidade dos processos licitatórios para obras públicas no Brasil. Desta forma, é possível considerar que estas melhorias tenham possibilidade real de serem executadas futuramente.

As soluções foram abordadas em forma de cálculos, permitindo analisar as diferenças das etiquetas parciais e geral obtidas pela edificação, gerando resultados que permitiram obter conclusões quanto a sua efetividade.

5 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

5.1 OBTENÇÕES DOS PROJETOS DA EDIFICAÇÃO

A execução do estudo demandou, inicialmente, a obtenção dos projetos da edificação, para que fossem conhecidas especificações dos sistemas e *layouts* da edificação. Por isso, foi realizada a solicitação de acesso aos projetos junto ao DPAE. O pedido foi deferido após um processo de cerca de 60 dias. Os projetos arquitetônicos de cobertura, fachadas, cortes, plantas baixas, os projetos do sistema de iluminação, e o projeto de condicionamento de ar foram obtidos junto ao memorial descritivo de cada um desses projetos. O campus Mato Alto foi projetado em duas etapas e, infelizmente, essa foi uma limitação do estudo, uma vez que pranchas fundamentais não estavam completas.

Usando as fachadas como exemplos, das quatro faces externas da edificação, apenas duas estavam representadas (Fachada Leste, e Fachada Sul). A fachada Norte possui uma total semelhança à Fachada Sul, o que facilitou a obtenção de dados relativos a mesma. Já a Fachada Oeste possui uma estrutura consideravelmente diferente da Fachada Leste, e seus cálculos foram obtidos utilizando informações da planta baixa, e da planta de cortes. Em relação aos materiais e acabamentos, necessários para cálculos como transmitância e absorvância, em alguns pontos havia semelhança com a fachada Leste, e em outras áreas, com auxílio da planta baixa e da planta de cortes, realizaram-se os cálculos, ainda que estes precisem ser considerados aproximados, e não exatos. A ausência desta Fachada pode gerar uma pequena imprecisão em alguns dados, de forma que deve ser considerada uma limitação do estudo.

Outra limitação foi encontrada no projeto de condicionamento artificial dos ambientes, não sendo possível identificar, sejam nas pranchas, ou no memorial descritivo, informações relativas ao isolamento de dutos, que é um dos pré-requisitos para a obtenção do nível A para esse sistema. Entretanto, esta limitação não foi realmente um problema para a determinação da etiqueta de projeto, como será apresentado a seguir, na apresentação da avaliação do sistema de climatização da edificação.

5.2 VISITA TÉCNICA

A visita técnica foi realizada no dia 03/05/2019, no período da tarde. Em relação aos sistemas de iluminação dos ambientes do segundo pavimento, foi verificado que a disposição atual de luminárias segue de forma rigorosa o disposto em projeto, tanto em relação a quantidade de luminárias, como em relação às especificações de lâmpadas. Os sistemas de acionamento também respeitaram o disposto no projeto.

Já com relação aos layouts do segundo pavimento, alguns ambientes sofreram algumas alterações de projeto, com a inclusão de divisórias de PVC para subdivisão das salas projetadas, gerando espaços individuais para professores, em forma de escritórios. A mesma situação foi verificada nos ambientes da parte térrea, só que em maior quantidade, com diversas salas ganhando mais ambientes isolados para atividades dos professores.

Entretanto, é importante ressaltar que, enquanto os ambientes do térreo foram subdivididos com divisórias que se estenderam até o teto, todas as divisórias do pavimento superior foram levantadas até uma determinada altura, que não se estendeu até o teto. Esta diferença acarretou em formas diferentes de consideração dos espaços internos para a avaliação do sistema de iluminação, em relação a metodologia de etiquetagem proposta pelo RTQ-C. Ainda em relação ao layout, outra importante alteração verificada foi a remoção quase completa da estrutura que, em projeto, referia-se a uma cantina, restando apenas uma parte que hoje é utilizada como sala de café dos professores e funcionários que trabalham no *campus*.

Na estrutura de envoltória do *campus*, não foram verificadas alterações. Paredes externas foram verificadas exatamente como em projeto, tanto em dimensões, como na construção e acabamento.

Os sistemas de iluminação das salas do térreo, ao contrário do visualizado no segundo pavimento, foram radicalmente alterados, tanto na disposição das luminárias, motivadas pelo isolamento completo entre os ambientes, como na potência instalada.

Com relação aos sistemas de climatização, foram verificadas diversas alterações. Com as subdivisões do pavimento térreo, quase todas as salas de professores possuem climatização exclusiva, diferente do projeto original, onde apenas um ar-condicionado realizaria o condicionamento artificial do ambiente. Foram identificadas apenas duas exceções, onde um mesmo ar-condicionado, de maior potência, acaba por refrigerar uma sala de professor em conjunto com a sala de reuniões.

Como não foi possível verificar o funcionamento de todos os condicionadores de ar, considerou-se para o estudo que todos os aparelhos estão em condições de uso, o que caracteriza todos os ambientes de permanência prolongada, como condicionados. Os aparelhos foram registrados em fotos. Aqueles que possuíam etiqueta de eficiência energética emitida pelo INMETRO, de visualização *in loco*, não necessitaram de pesquisa do nível de eficiência, enquanto que, os aparelhos que não possuíam, tiveram registrados seus modelos, para posterior pesquisa, através de tabelas fornecidas pelo INMETRO, do seu nível de eficiência.

As alterações de *layout* foram registradas em forma de desenho, com auxílio de trena a laser, primeiramente nos projetos impressos, para posterior replicação no software AutoCAD. Em paralelo com as atualizações de projeto, foram realizadas medições do nível de iluminância dos ambientes, com a obtenção de dados que permitiriam a validação das simulações realizadas no DiaLux.

As medições realizadas com o luxímetro apresentado na Figura 10 foram realizadas em planos de trabalho específicos, selecionados de forma a abranger todos os setores dos ambientes para posterior comparação com o sistema simulado. Registra-se, portanto, que os pontos adotados não foram definidos através da NBR 5382, e recomenda-se sua utilização em trabalhos futuros.

Como o objetivo era realizar a avaliação apenas do sistema de iluminação artificial, tomou-se o cuidado de fechar todas as cortinas das salas de aula, permitindo que fosse avaliado exclusivamente o nível de iluminância do sistema existente.

Nas salas de aula 205, e nas salas multiuso 201 e 210, as escolhas dos planos de trabalho foram definidas com o intuito de que fossem obtidos dados de pontos diferentes dos ambientes, como as mesas encontradas nas paredes laterais, mesas posicionadas bem abaixo das luminárias, e mesas entre as luminárias, além dos planos de trabalhos dos professores. Já na sala 203, foram avaliados todos os planos de trabalho, uma vez que se constituem de apenas algumas mesas de computadores. Por fim, na sala 207, avaliou-se apenas um plano de trabalho, a mesa de reunião existente, uma vez que se trata do único plano de trabalho que se mantém fixo naquele ambiente.

É importante ressaltar que os ambientes avaliados podem ter alterações constantes de plano de trabalho, como por exemplo, a reorganização das mesas de computadores da sala 103, ou trabalhos em equipe nas salas com diversas carteiras, que levam a diferentes organizações das mesmas no espaço. Para estes casos, a norma afirma que todo o ambiente deve ser considerado como plano de trabalho. Assim, mesmo avaliando os planos de trabalho com o posicionamento atual, tomou-se o cuidado de verificar se todas as salas respeitavam os níveis mínimos de iluminância e demais parâmetros, uma vez que todo o espaço pode receber um plano de trabalho.

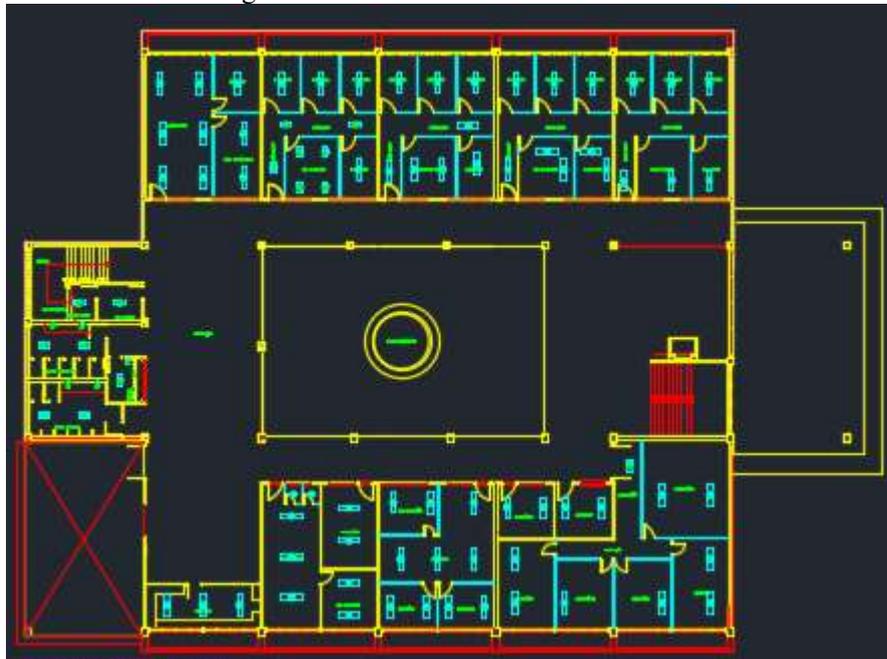
As medições foram realizadas a uma altura equivalente às alturas das carteiras dos estudantes, mesa dos professores, mesas dos computadores, e mesa da sala de reunião, que são

os planos de trabalho identificados nas salas do segundo pavimento, de forma a tornar estas medições válidas para comparação com os resultados obtidos pela simulação luminotécnica, e para posterior comparação às exigências da norma brasileira de regulamentação de iluminação em ambientes de trabalho, NBR 8995.

5.3 ATUALIZAÇÃO DOS PROJETOS DO CAMPUS

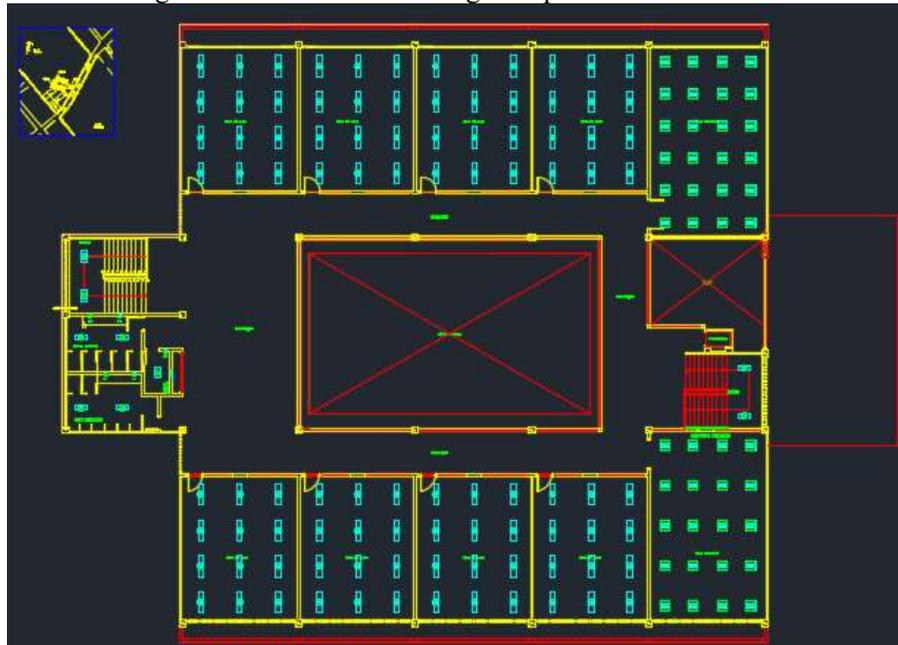
Após a visita técnica ao campus, com o auxílio do software AutoCAD 2017, foi realizada a atualização dos layouts dos ambientes e a disposição de luminárias. Nessa atualização, foram desconsideradas as alterações verificadas nos ambientes do segundo pavimento, devido ao fato de que as divisórias não são prolongadas até o teto. As divisórias influenciam apenas na avaliação dos sistemas de iluminação da edificação, e na metodologia do RTQ-C, cita-se que apenas divisórias prolongadas até o teto devem ser consideradas para cálculo. A seguir, será apresentado o layout dos ambientes, com respectivas luminárias, sendo a Figura 13 relativa ao térreo, e a Figura 14 do segundo pavimento, já atualizado.

Figura 13 – Planta baixa térreo atualizada



Fonte: Autor

Figura 14 –Planta baixa do segundo pavimento atualizada



Fonte: Autor

5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ETIQUETAGEM

5.4.1 Análise dos pré-requisito gerais

A aplicação da metodologia iniciou-se com a análise dos pré-requisitos gerais para avaliação da edificação. Como já foi citado, o consumo de água quente na edificação é extremamente baixo, em atividades como, por exemplo, a preparação de cafés. Não existem vestiários de alta demanda de energia através de chuveiros, nem qualquer outra atividade rotineira que demande água aquecida. Portanto, este pré-requisito não se aplica a esta edificação.

Já em relação a divisão de circuitos, os projetos demonstram a divisão dos mesmos por uso final. Na visita in loco, pôde-se realizar algumas verificações neste sentido, e concluir que, conforme projeto, a edificação cumpre este pré-requisito e, portanto, está apta, dentro dos pré-requisitos gerais, a receber qualquer classificação do seu nível de eficiência.

5.4.2 Análise de Envoltória

A edificação em estudo, como já citado anteriormente, está localizada na Zona Bioclimática 2, de acordo com a NBR 15220-3. Dentre as duas equações possíveis para esta zona bioclimática, a escolha dependeria do cálculo de sua área de projeção média.

O cálculo da projeção do edifício foi realizado com o auxílio das plantas baixas de cada pavimento. O primeiro pavimento possui toda uma área retangular de projeção, enquanto que, no segundo pavimento, a projeção não contabiliza o vão referente ao átrio da edificação, e também de uma área ao lado do elevatório, que não possui área útil. Desta forma, realizou-se o cálculo, conforme apresentado na equação (8):

$$A_{PE} = \frac{2*((35,60*35,85)+(11,85*6,925))-(11,85*17,53)-(5,62*7,14)}{2} \quad (8)$$

$$A_{PE} = 1234,40m^2$$

Com o resultado, foi verificado que a equação a ser utilizada para o cálculo do Índice de Consumo é a que prevê uma área de projeção maior de 500 m² e, por consequência, a edificação deve obter um Fator de Forma mínimo de 0,15. Apresenta-se então a equação (9):

$$IC_{ENV} = -14,14FA - 113,94FF + 50,82PAF_{T(O)*} + 4,86FS - 0,32AVS + 0,25AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 * PAF_{T(O)*} * AHS + 277,98 \quad (9)$$

O passo seguinte, portanto, foi realizar o cálculo do Fator de Forma, para verificar se este respeita o pré-requisito da equação. Para isso, foi necessário, o cálculo da área total de envoltória, e do volume total da edificação. Para a área de envoltória, foram utilizadas a planta de fachadas, e a planta da cobertura, para o cálculo das respectivas áreas. Com relação as fachadas Norte e Oeste, que não possuem representação no projeto, foram tomadas decisões diferentes. Com relação a fachada Norte, esta é de fato idêntica à fachada Sul, e por isso, apenas replicou-se o valor obtido para a fachada Sul. A Figura 15 apresenta uma foto da Fachada Norte. Já a Figura 16 mostra a Fachada Sul, em captura feita *in loco*:

Figura 15 – Fachada Norte da Edificação



Fonte: Laboratório de Neurologia e Pediatria/UFSC, 2018.

Figura 16 – Fachada Sul da Edificação



Fonte: Autor

Em relação à fachada Oeste, tomou-se como referência de comprimento, o valor de comprimento identificado em planta baixa, somado à altura da edificação, que pôde ser obtida através da planta de corte. Ao final do cálculo, foi notório que, apesar da diferença de layout, ambas as fachadas possuem área bastante semelhante, o que já era esperado, uma vez que a edificação tem forma retangular e possui alturas semelhante em ambos os lados. A Tabela 10 apresenta os valores da área de envoltória:

Tabela 10 – Valores da Área de Envoltória

Fachada	Área de Envoltória
Norte e Sul	654,372
Leste	282,051
Oeste	280,932
Área de Cobertura	1235,32
Área Total	2452,675

Fonte: Autor

Já em relação ao volume total da edificação, inicialmente realizou-se a multiplicação da área de pavimento do térreo, pela altura da edificação, dado obtido através da planta de corte. Entretanto, como o RTQ-C indica, é necessário que se reduza deste valor, o volume relativo ao pátio aberto, como existe na edificação em estudo. Portanto, do volume obtido inicialmente, de 15.668,24 m³, foi reduzido o valor de 1.479.75 m³, referente ao volume de pátio aberto. Assim, o FF foi determinado através da equação (10):

$$FF = \frac{2452,675}{14188,49} = 0,1728 > 0,15 \quad (10)$$

Portanto, a edificação em estudo cumpre o requisito do Fator de Forma mínimo, para a equação correspondente ao seu índice de consumo.

Definida a equação e o cumprimento dos requisitos para o uso da edificação, partiu-se para o cálculo dos demais parâmetros utilizados na equação.

O Fator de Altura (FA) foi obtido através da relação entre A_{PCOB} , e A_{TOT} . A área total construída é o somatório de toda a área de piso dos pavimentos. A Tabela 11 apresenta os valores calculados com auxílio da planta baixa da edificação:

Tabela 11 – Área total dos pavimentos

Área	m ²
Total Construída	2468,80
Térreo (salas fechadas + circulação + escadas)	1358,32
2º Pavimento (salas fechadas + circulação)	1110,48

Fonte: Autor

Já a área de projeção da cobertura, foi facilmente obtida na planta de cobertura da edificação, com o valor de 1068,76 m², valor que já exclui desta conta o espaço vazio do átrio da edificação, e também o valor referente a cobertura das caixas d'água da edificação, seguindo instruções do RTQ-C. Finalmente, através da equação (11), obteve-se o valor para FA:

$$FA = \frac{1068,76}{2468,80} = 0,433 \quad (11)$$

Para o cálculo do percentual de abertura de fachadas, foram utilizadas as fachadas Sul e Leste, com a duplicação do valor da fachada Sul para a fachada Norte, que possuem mesmo número de aberturas de iguais dimensões, conforme apresentado nas Figuras 15 e 16. Com relação a Fachada Oeste, através de fotos foram identificadas as aberturas, e utilizando as descrições das dimensões de portas e janelas, no memorial descritivo da edificação, foi possível obter a área total de abertura. Já em relação a área total da fachada, esta já foi estimada anteriormente, no cálculo de A_{ENV} através da equação (2). As Figuras 17a, 17b e 17c apresentam as aberturas da Fachada Oeste:

Figura 17 – Janela e Porta das áreas de circulação do segundo e primeiro pavimento, respectivamente (a); Janelas dos banheiros de ambos os pavimentos (b); Janela da área de circulação do 2º pavimento, e portas de acesso protegidas pelo elemento de sombreamento amarelo no primeiro pavimento (c)



Fonte: Autor

Em relação à Fachada Leste, a Figura 18 apresenta os elementos envidraçados e aberturas:

Figura 18 – Aberturas Fachada Leste



Fonte: Nicola Martins/Engeplus, 2019

As fachadas Norte e Sul possuem, cada uma, 80 janelas de 0,76x1,18 m. Não possuem portas, nem qualquer outro tipo de abertura. A fachada Leste possui uma Porta de vidro, 4 folhas, de dimensão total 2,85x6,8 m. Acima desta porta existe uma placa, em aço escovado, com a apresentação visual do campus, de 2,09x6,8 m, e acima desta placa, mais uma parede toda de vidro, com dimensões de 2,0x6,8 m. Ainda nesta fachada, existe uma porta de acesso menor, com 2 folhas, e dimensões de 2,85x2,525 m.

Já na fachada Oeste, na faixa a esquerda do bloco das escadas, verifica-se uma porta de vidro, de correr, com dimensões de 2,30x2,85 m, e logo acima, uma janela de 4 folhas com dimensões de 0,6375x1,0 m, e mais 4 folhas superiores de 0,20x0,6375 m. Já no lado direito do bloco das escadas, verificam-se 16 janelas de folha dupla em vertical, cada uma cada folha com dimensões de 0,20x0,75 m, e finalmente, e ainda possuem duas entradas, uma onde antes era a entrada para a cantina, e a outra que funciona como entrada principal da edificação atualmente. A entrada principal é uma porta de duas folhas de abertura perpendicular, e possui dimensão de 2,10x2,85 m. A porta da antiga cantina possui dimensão de 2,0x2,85 m.

Além disso, as fachadas Leste e Oeste possuem paredes vazadas, com áreas respectivas de 23,936 e 26,125 m². Seguindo o descrito no RTQ-C, estes elementos são contabilizados como aberturas.

Levantadas todas as aberturas, realizaram-se os cálculos do percentual de abertura de cada fachada, e o percentual de abertura total. Ao final, comparou-se o percentual total de aberturas, com o percentual verificado na fachada oeste. A Tabela 12 apresentam os dados:

Tabela 12 – Determinação do Percentual de Abertura da Edificação

Áreas de Envoltória e Aberturas (m ²)	
Aberturas (Fachadas Norte e Sul – Janelas Salas)	143,488
Aberturas (Fachada Leste)	71,128
Aberturas (Fachada Oeste – Em frente ao Estacionamento)	51,865
Área de Envoltória (Norte e Sul)	654,372
Área de Envoltória (Fachada Leste)	282,051
Área de Envoltória (Fachada Oeste)	280,932
PAFT (%)	0,2189
PAFO (%)	0,1846

Fonte: Autor

Com os valores obtidos, não foi necessário sequer a verificação da diferença entre PAF_T e PAF_O , pois o primeiro já é maior que o segundo, sendo, portanto, utilizado na equação do IC_{ENV} . Ainda neste parâmetro, vale apontar uma questão abordada ao RTQ-C, relativa a área de entrada principal da fachada Oeste, que possui uma cobertura amarela que se estende até as portas de entrada. O RTQ-C aponta que estes elementos seriam considerados como varanda interna, e área de abertura, desde que o comprimento deste elemento, até a parede de entrada na edificação, não extrapolasse em mais de 2 vezes a altura do elemento. Através de medições *in loco*, verificou-se que o comprimento do elemento é de 7,80 m, enquanto sua altura é de 3m. Portanto, esse elemento foi considerado apenas um elemento de sombreamento, e as aberturas consideradas foram apenas as portas.

Para o cálculo do sombreamento, foi necessário primeiro verificar quais elementos de sombreamento seriam considerados. Em relação aos ângulos verticais de sombreamento, foram considerados os ângulos entre as janelas das fachadas Norte e Sul, e o beiral de sombreamento que existem por toda a extensão de ambas as fachadas, com um afastamento de 1 m em relação a parede. Como existem estes elementos para sombrear especificamente as janelas de cada andar, calcula-se apenas um ângulo de sombreamento para cada abertura. Além disso, como são fachadas simétricas, os 4 ângulos a serem considerados são iguais e, portanto, calcula-se apenas um ângulo. Portanto, através da relação das tangentes, tem-se que o cateto oposto (relativo à distância perpendicular do elemento sombreado, e a parede da fachada), e o cateto adjacente (distância entre o ponto mais distante da abertura, com o ponto mais próximo do elemento de sombreamento projetado na parede de fachada), geram o seguinte ângulo:

$$AVS_{N-S} = \tan^{-1}(1/1,27) = 38,22^\circ$$

Em relação a fachada oeste, a cobertura amarela da entrada é um elemento de sombreamento das aberturas de entrada principal e da antiga porta de entrada da cantina. Como abordado anteriormente, este elemento possui um comprimento até a abertura, de 7,80 m, e uma altura de 3,0 m, considerando o piso do local e, conseqüentemente, o ponto mais distante entre o elemento, e as aberturas. Dessa forma, o ângulo obtido é:

$$AVS_O = \tan^{-1}(7,80/3,0) = 68,96^\circ$$

O ângulo obtido ultrapassa o ângulo limite ao RTQ-C e, portanto, será considerado em cálculo como 45° .

Já a cobertura da área de acesso da fachada leste, que sombreia toda a área envidraçada e a parede vazada possui uma altura de 4,85 m (entre o ponto mais distante da parede, até o piso), e um comprimento de 8,15 m. O ângulo resultante desse elemento de sombreamento é:

$$AVS_L = \tan^{-1}(8,15/4,85) = 59,24^\circ$$

Portanto, este ângulo também será considerado como 45° na ponderação. Finalmente, realiza-se a ponderação dos ângulos pelas áreas que sombreiam:

$$AVS = \frac{71,744 * 38,22 + 71,744 * 38,22 + 71,128 * 45 + 11,685 * 45}{226,301} = 40,70^\circ$$

Já em relação ao ângulo de sombreamento horizontal (AHS), verificou-se apenas o auto-sombreamento na fachada oeste, relativo ao bloco de escadas, que atua na porta e janela do lado esquerdo da fachada. Através da planta baixa, pode-se verificar que o comprimento este bloco possui um comprimento de 7,20 m, medido da parede das aberturas até o fim da extensão

do bloco. Tanto a porta quanto a janela possuem comprimento de 2,85 m e, portanto, terão o mesmo ângulo vertical, que é calculado a seguir:

$$AHS = \tan^{-1}(7,20/2,85) = 68,40^\circ$$

Como o ângulo também extrapola o limite de 45°, o AHS resultante terá o limite de 45°.

Antes da determinação do IC_{ENV} , foi necessário identificar o Fator Solar dos elementos transparentes ou translúcidos. Como o RTQ-C pede para que se desconsiderem os átrios da edificação como aberturas, estes não foram considerados no cálculo, o que resultou em um PAZ = 0%. Já em relação aos vidros das janelas, o memorial descritivo os especificam em vidros de 4mm, liso, e cristal, da marca Cebrace ou similar. No catálogo da BrazilGlass, este elemento é identificado, e possui um fator solar de 0,51. Já as portas, são de vidros temperados, de 10mm, e se referênciam no memorial com a especificação Dorma ES 200 EASY. Esta especificação foi buscada, mas não foi encontrado nenhum valor de FS, nem quaisquer outras especificações do material. Em estudos como o de Pereira, 2010, e também na análise de catálogos, percebe-se que quanto mais escuras as cores do vidro, e maior sua espessura, menor é o seu fator solar. Adotou-se, portanto, o fator solar de um vidro incolor, de Cebrace, de espessura semelhante ao vidro das portas, com FS igual a 0,28. Realizando a ponderação pela área de cada abertura, sendo os vidros da fachada leste todos temperados de 10mm, os das fachadas norte e sul com janelas de 4mm, e a fachada oeste um misto de 4mm (janelas), e 10mm (portas). Portanto, o valor do FS ponderado foi de 0,457. Finalmente, realizou-se o cálculo do IC_{ENV} da edificação, através da aplicação da equação (9):

$$IC_{ENV} = -14,14 * 0,433 - 113,94 * 0,173 + 50,82 * 0,219 + 4,86 * 0,457 - 0,32 * 40,70 + 0,25 * 45 - \frac{35,75}{0,173} - 0,54 * 0,219 * 45 + 277,98$$

Com essa fórmula, obteve-se um $IC_{ENV} = 51,753$

Posteriormente, através dos parâmetros apresentados pelo RTQ-C, calculou-se o $IC_{máxD}$, e o IC_{min} , com valores respectivos de 78,809, e 52,121. Dessa forma, os intervalos da classificação puderam ser obtidos, através da Equação 04:

$$i = \frac{(78,809 - 52,121)}{4} = 6,672$$

Finalmente, foi montada a tabela dos limites, para a determinação do nível de eficiência energética da edificação, antes das avaliações dos pré-requisitos.

Tabela 13 – Limites de cada nível de eficiência

	A	B	C	D	E
Limite	-	58,803	65,475	72,147	78,819
Limite mínimo	58,793	65,465	72,137	78,809	-

Fonte: Autor

Dessa forma, a envoltória, antes da avaliação dos pré-requisitos, possui um nível A de eficiência energética.

Determinada a classificação do IC_{ENV} , partiu-se para a avaliação da absorvância, e transmitância térmica da envoltória. Com relação à absorvância, observou-se uma limitação significativa na obtenção dos dados para os diferentes componentes da edificação. A limitação na especificação desta propriedade dos materiais é apontada em diversos estudos, como os

trabalhos de Dornelles (2008), Dornelles, Souza e Santos (2010), e Pezzutto (2015). Em Dornelles, Souza e Santos (2010), a absorvância é apontado inclusive como uma das limitações para a aplicação da metodologia, devido ao fato de que se trata de um pré-requisito com limite baixo, e qualquer alteração pode gerar um erro na avaliação.

Para calcular a absorvância das edificações, como forma de mitigar esta limitação, o RTQ-C permite uma simplificação deste cálculo, avaliando as absorvâncias de acordo com a cor das paredes, pois considera que é a cor a variável que comanda a variação de absorvância. Como a edificação possui diferentes cores, foi necessária a ponderação entre as áreas de cada cor. Os valores de absorvância foram retirados da NBR 15220, e do trabalho de Dornelles (2008). A Tabela 14 apresenta a absorvância das paredes, e da cobertura.

Tabela 14 – Determinação da absorvância da superfície

Cor	Absorvância	Área	Ponderação
Azul Escuro	0,733	417,558	0,244573871
Branco	0,200	153,445	0,02452291
Cinza (Jade)	0,523	323,073	0,135017986
Amarelo Marfim	0,482	197,042	0,075891846
Vidro	0,128	160,342	0,016398261
Absorvância Parede Ponderada	-	-	0,496404875
Absorvância Cobertura Metálica	0,432	-	-

Fonte: Autor

Para a Zona Bioclimática 2, determina-se uma absorvância menor ou igual a 0,50 W/m², nas paredes e na cobertura, para a obtenção de etiqueta A ou B. Nos cálculos realizados, a absorvância respeitou estes limites e, portanto, este pré-requisito considera-se cumprido, apesar de ter de ser novamente citado que, para a realização deste cálculo, realizou-se uma simplificação que, mesmo que seja permitida pelo RTQ-C, pode influenciar no resultado, principalmente pelo fato de os valores obtidas estarem em uma margem muito próxima do valor limite.

Já com relação à transmitância da edificação, foi consultado o memorial descritivo do projeto, que apresentou as especificações das construções de lajes, paredes, e da cobertura metálica. Segundo o memorial, as paredes foram construídas com uma fileira de tijolos de 6 furos, dimensões de 10x15x20 cm, revestidos interna e externamente com 2,5 cm de cimento traço 1:3. Dessa forma a espessura da parede é de 15 cm. A cobertura é de telha metálica, de aço zincado LR-40, com espessura de 6,5 mm. Já a laje é de cimento, pré-moldada, de 15 cm de espessura.

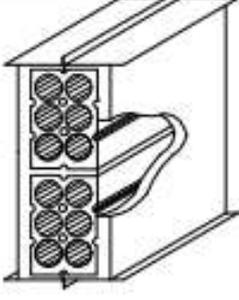
Com estes dados, através de consulta a NBR15220, e ao livro de conforto térmico do LABEEE, foram obtidos os valores de transmitância referente a estes componentes, conforme apresenta-se a seguir, nas Figuras 19, e Figura 20:

Figura 19 – Transmitância Térmica da cobertura equivalente a cobertura da edificação em estudo



Fonte: LABEEE, 2010

Figura 20 – Transmitância térmica das paredes da envoltória.

	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

Fonte: NBR15220, 2005

Os limites de transmitância térmica para a Zona Bioclimática 2, são apresentados na Tabela 15:

Tabela 15 – Valores de transmitância para edificações localizadas na Zona Bioclimática 2

Limites de Transmitância para ZB2 (W/m ²)	A	B	C	D	E
Cobertura Condicionada	0,50	1,00	2,00	2,00	-
Cobertura Não Cond.	1,00	1,50	2,00	2,00	-
Paredes Externas Cond.	1,00	2,00	3,70	3,70	-

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptado)

Analisando a transmitância da cobertura, que possui apenas uma composição para todo o complexo (desconsiderando a caixa d'água, que o RTQ-C exclui da avaliação), e considerando que todas os ambientes cobertos e fechados por 4 paredes possuem ar-condicionado, percebe-se que o valor de 1,54 W/m²K enquadra a edificação em estudo a obter, no máximo, a etiqueta C de eficiência energética. Em relação às paredes dos ambientes condicionados, sendo todos eles compostos por paredes com a especificação citada no memorial descritivo, o valor de 2,28 W/m²K enquadra a edificação também ao nível C de eficiência energética. Portanto, ao final da avaliação dos pré-requisitos da envoltória, a classificação obtida pelo IC_{ENV} é rebaixada, e a envoltória obtém classificação nível C. Com isso, o Eq.NumEnv, para aplicação na equação geral, é 3.

A transmitância é outro parâmetro que necessita ser atualizado no país com um número maior de referências, devido a sua importância na classificação da edificação, para que a metodologia de etiquetagem cumpra seu papel com um nível ainda mais preciso de acerto. Ressalta-se que, como abordado anteriormente, países como os EUA reconhecem a importância da boa especificação destes parâmetros para difundir a aplicação da etiquetagem de suas edificações. Até por isso, desenvolveram um sistema de consulta de valores de transmitância e absorptância, com atualização periódica de valores e composições.

Como estas propriedades, para seu cálculo de acordo com as normas existentes, necessitam da obtenção de valores de propriedades que só são possíveis com o aparato de equipamentos específicos, é inviável ao presente estudo sua especificação exata.

5.4.3 Sistema de Iluminação

A avaliação do sistema de iluminação através do método prescritivo do RTQ-C, utilizou as pranchas atualizadas que integram o novo layout, com o posicionamento e potência das luminárias de cada ambiente, que foram apresentadas nas Figuras 13 e 14, além do

memorial descritivo do sistema de iluminação. Antes da metodologia de cálculo, foram avaliados os três pré-requisitos.

Em relação ao pré-requisito de divisão de circuitos, apenas um laboratório do curso de fisioterapia, dentro da sala 101, não respeitou esta recomendação, uma vez que seu interruptor se localiza na zona de circulação da sala 101, e uma divisória instalada posteriormente à concepção do projeto impede que se visualize o desligamento de uma luminária interna à sala. Com isso, inicialmente, seria necessário realizar uma ponderação entre os ambientes que cumprem, e o único ambiente que não cumpre. Tal ponderação não geraria diferença na classificação da edificação, pois trata-se da parcela de uma sala, comparada a todo o restante da edificação.

Além disso, o RTQ-C descreve que, no caso de não ser possível visualizar todo o sistema que está sendo controlado, basta que se informe ao usuário, através de uma representação gráfica ao lado do interruptor, as luminárias que serão acionadas ou desligadas por aquele interruptor. Portanto, como a solução deste caso isolado não demanda de nenhuma atividade técnica, construtiva, ou de alto custo à universidade, e como trata-se de um ambiente isolado, de forma que a ponderação não geraria alteração nenhuma na classificação do sistema de iluminação, foi considerado que o pré-requisito da divisão de circuitos foi cumprido.

Já em relação ao pré-requisito da contribuição de iluminação natural, a visita in loco para verificação proporcionou identificar que a edificação não cumpre o requisito. A edificação em estudo possui tanto ambientes voltados para o ambiente interno, quanto ao átrio não coberto. Entretanto, apenas em um laboratório foi identificada a separação de circuitos de forma a aproveitar a iluminação natural, dentre os mais de 50 ambientes diferentes que coexistem na edificação. Portanto, este pré-requisito não foi cumprido.

Por fim, em relação ao desligamento automático do sistema de iluminação, foi verificado que este pré-requisito não se aplica ao edifício em estudo, uma vez que este pré-requisito é exigido em ambientes internos com mais de 250 m², e nenhum ambiente fechado desta edificação possui este tamanho.

Os pré-requisitos, quando não cumpridos, geram uma limitação no nível da etiqueta que se pode alcançar, como apresentado anteriormente. O não cumprimento do pré-requisito de contribuição de iluminação natural, faz com que a máxima classificação obtida pelo sistema de iluminação seja de nível C.

Avaliados os pré-requisitos, iniciou-se o procedimento de cálculo. Como abordado anteriormente, o presente estudo abordou a metodologia das atividades do edifício, de forma que o primeiro passo foi justamente identificar as atividades abordadas pelas tabelas do RTQ-C, que são realizadas na edificação. A Tabela 16 apresenta as atividades escolhidas, e suas respectivas densidades de potência limite (DPI_L). Já as Figuras 13 e 14, apresentam as plantas baixas do campus, térreo e 2º pavimento respectivamente, com a atividade de cada ambiente.

Tabela 16 – DPI_L das atividades da edificação em estudo

	DPI_L – A	DPI_L – B	DPI_L – C	DPI_L – D	K	RCR
	(W/M²)	(W/M²)	(W/M²)	(W/M²)		
Circulação	7,100	8,520	9,940	11,360	<2,4m largura	
Escritórios	10,500	12,600	14,700	16,800	1,200	4,000
Banheiros	5,000	6,000	7,000	8,000	0,600	8,000
Escadas	7,400	8,880	10,360	11,840	0,600	10,000
Casa de Máquinas	6,000	7,200	8,400	9,600	0,800	6,000
Sala Multiuso	11,900	14,280	16,660	19,040	0,800	6,000
Lab de Pesquisa	10,200	12,240	14,280	16,320	0,800	6,000
Sala de Reunião	11,900	14,280	16,660	19,040	0,800	6,000
Salas de Aula	10,200	12,240	14,280	16,320	1,200	4,000
Refeitório	11,500	13,800	16,100	18,400	0,800	6,000
DPI_L Total	91,700	110,040	128,380	146,720		

Fonte: RTQ-C, 2013 (Adaptada)

Além das densidades de potência, neste método, existem dois fatores de correção dos sistemas, que são o K, e o RCR. Quando um ambiente que não obteve etiqueta A, possui um K inferior ao K limite, ou um RCR superior ao RCR limite, pode-se considerar um aumento de 20% nos limites de potência deste ambiente.

Neste momento, é válido fazer algumas considerações sobre a definição dos ambientes. Com relação às áreas de circulação externa, corredores da edificação, optou-se por sua não avaliação, uma vez que se trata de uma área de baixa circulação e, portanto, de baixa influência no presente estudo, que pretende traçar um paralelo entre a metodologia do RTQ-C, e o conforto visual e térmico dos ocupantes do ambiente. Além disso, sua característica de ser bastante aberto em relação à iluminação natural, torna a avaliação do sistema de iluminação artificial impreciso.

Em alguns ambientes da parte superior, foi verificado na coleta de dados *in loco*, que algumas salas ganharam divisórias, diferente do projeto apresentado. Entretanto, foi verificado também que nenhuma destas divisórias se estendeu até o teto. Dessa forma, o ambiente foi caracterizado conforme projeto inicial do campus, o que não gera prejuízo ao estudo uma vez que as atividades realizadas nestas salas, semelhante a escritórios, e salas de estudo, possuem limites de densidade de potência bastante semelhantes, como pode-se perceber na Tabela 16. Outra constatação que motivou adotar este critério na caracterização destes ambientes, é o fato de que todos mantiveram a disposição de luminárias de projeto.

Ainda na parte superior, existem duas salas maiores, as salas 201 e 210, onde verificou-se que atualmente são ministradas aulas da pós-graduação. Entretanto, em projeto, estas salas foram caracterizadas como salas de conferência e laboratórios de informática. Como não se definiu uma atividade específica para a mesma, e estas possuem uma estrutura um pouco diferente das demais salas do segundo pavimento, podendo futuramente agregar outro tipo de atividade, adotou-se a definição de salas multiuso para ambas.

Já no térreo, as mudanças de estrutura dos ambientes foram muito mais notórias. O espaço destinado à cantina em projeto, foi reduzido a um pequeno espaço de refeitório para funcionários. Diversos ambientes tiveram seu formato de projeto alterado, sendo subdivididas em pequenos escritórios para os professores da instituição, além de salas que serviriam, em tese, para reuniões, dessa vez com divisórias até o teto, e com alterações na disposição dos sistemas de iluminação. Outras salas se tornaram laboratórios, ou se subdividiram em mais espaços, conforme apresentado na Figura 13.

Na visita técnica, foi possível verificar que as luminárias, assim como abordado em projeto, são em quase totalidade luminárias com lâmpadas tubulares fluorescentes, sendo, portanto, necessário adicionar a potência relativa aos reatores, no cálculo de potência instalada. Apenas alguns ambientes das subdivisões da sala 111 possuem algumas lâmpadas do tipo LED, de 20 W. A Tabela 17 apresenta os valores, em Watts, das perdas dos reatores de cada tipo de luminária avaliada, sendo os dados obtidos junto a fornecedores de luminárias destes modelos, como a Taschibra e a Luzville:

Tabela 17 – Potência dos reatores das luminárias fluorescentes

Reatores Luminária 2x16W	1x3,4W
Reatores Luminária 2x32W	1x8,2W
Reatores Luminária 1x70W	1x14,5W
Reatores Luminária 4x16W	2x7,1W

Fonte: Autor

Portanto, utilizando a equação apresentada anteriormente na metodologia, e as plantas baixas com a disposição e especificação das potências das lâmpadas, pôde-se calcular a potência

instalada em cada ambiente. A Tabela 18 apresenta a potência instalada por atividade, e a área total iluminada de cada ambiente:

Tabela 18 – Potência instalada para cada atividade, e área ocupada por cada atividade

	Área Total Iluminada (m ²)	Potência Inst. Total (W)	DPLA – (W/m ²)
Circulação	112,420	791,400	7,040
Escritórios	219,723	2438,200	11,097
Banheiros	79,532	494,600	6,219
Escadas	37,592	141,600	3,767
Casa de Máquinas	9,720	70,800	7,284
Sala Multiuso	167,236	3128,400	18,706
Lab de Pesquisa	120,681	981,600	8,134
Sala de Reunião	90,528	1043,400	11,526
Salas de Aula	505,601	6931,200	13,709
Refeitório	19,127	216,600	11,324
Total	1362,160	16237,800	98,805

Fonte: Autor

Dividindo a potência instalada nos ambientes de cada atividade, pela área iluminada de cada ambiente, pôde-se obter a densidade de potência dos ambientes de cada atividade. Dessa forma, comparando esta densidade, com a densidade de potência limite, foi possível definir o nível de eficiência dos ambientes de cada uma das atividades da edificação. Por fim, para a determinação do nível de eficiência global do sistema, basta realizar a soma da potência total instalada, e comparar com a soma do produto da área total de cada atividade, com a DPIL de cada atividade, que gera um valor de potência limite para cada nível geral de eficiência. Assim, compara-se a potência total instalada, com a potência total limite para cada nível de eficiência. A Tabela 19 apresenta os resultados dos cálculos, e o nível de eficiência obtido:

Tabela 19 – Cálculo de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação

	Área Total Iluminada (M ²)	DPIL – A (W/M ²)	DPIL – B (W/M ²)	DPIL – C (W/M ²)	DPIL – D (W/M ²)	Potência Inst. Total (W)	DPLA – (W/M ²)	Nível de Eficiência
Circulação	112,420	7,100	8,520	9,940	11,360	791,400	7,040	A
Escritórios	219,723	10,500	12,600	14,700	16,800	2438,200	11,097	B
Banheiros	79,532	5,000	6,000	7,000	8,000	494,600	6,219	C
Escadas	37,592	7,400	8,880	10,360	11,840	141,600	3,767	A
Casa de Máquinas	9,720	6,000	7,200	8,400	9,600	70,800	7,284	C
Sala Multiuso	167,236	11,900	14,280	16,660	19,040	3128,400	18,706	D
Lab de Pesquisa	120,681	10,200	12,240	14,280	16,320	981,600	8,134	A
Sala de Reunião	90,528	11,900	14,280	16,660	19,040	1043,400	11,526	A
Salas de Aula	505,601	10,200	12,240	14,280	16,320	6931,200	13,709	C
Refeitório	19,127	11,500	13,800	16,100	18,400	216,600	11,324	A
Geral	1362,160	13514,865	16217,838	18920,811	21623,785	16237,800		C

Fonte: Autor

Na Tabela 19, foi possível verificar que a potência instalada total é de 16237,8 W, o que supera as potências limite para obtenção de nível A (13514,865 W), e B (16217,838 W), ficando, portanto, classificada em nível C. Com isso, o não cumprimento do pré-requisito de iluminação natural acabou não gerando diferença, uma vez que limitava o nível de eficiência ao mesmo patamar.

Antes de dar por finalizado, buscou-se realizar os cálculos de K e RCR, de forma a verificar o nível de classificação. O fator de correção K é calculado através da equação (12):

$$K = \frac{A_T + A_{PT}}{A_P} \quad (12)$$

Onde,

K - Índice de Ambiente (adimensional);

A_T – Área de Teto (m^2);

A_{PT} – Área do plano de trabalho (m^2);

A_P – Área de parede entre o plano iluminante, e o plano de trabalho (m^2).

Já o RCR é calculado pela seguinte equação:

$$RCR = \frac{2,5 \cdot H_P + P}{A_P} \quad (13)$$

Onde,

RCR – Room Cavity Ratio (adimensional);

H_P – Altura de parede, entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m);

P – Perímetro (m);

A_P – Área do ambiente (m^2).

A Tabela 20 apresenta os valores definidos para todas as variáveis, e o cálculo de K e RCR de todos os ambientes da edificação. Ao final dos cálculos, nenhum dos ambientes teve seu nível de eficiência alterado e, portanto, o nível global também não se alterou. Portanto, não houve nenhuma alteração de DPI_L , o nível obtido de eficiência não se altera igualmente, e o Eq.NumDPI obtido é 3.

Tabela 20 – Cálculos dos fatores K e RCR

Ambiente	K	RCR
Circulação	-	-
Escritórios	0,641	6,061
Banheiros	1,457	3,422
Escadas	-	-
Casa de Máquinas	2,879	1,689
Sala Multiuso	3,9762	1,522
Lab de Pesquisa	-	-
Sala de Reunião	-	-
Salas de Aula	2,814	3,145
Refeitório	-	-

Fonte: Autor

5.4.4 Sistema de Condicionamento de Ar

Como citado na visita técnica, muitos aparelhos já possuíam a etiqueta de eficiência energética do PBE em sua carcaça. Porém, muitos outros aparelhos não as continham, e portanto, o foi necessário verificar se estes aparelhos possuíam classificação de eficiência energética nas tabelas fornecidas pelo INMETRO.

Acessando o site do INMETRO, na área direcionada aos consumidores, foram obtidas as tabelas para consulta e, então, todos os aparelhos foram classificados, uma vez que todos eles possuíam seu nível de eficiência energética determinado pelo INMETRO.

Feito isso, bastou determinar o equivalente numérico de cada aparelho, de acordo com sua etiqueta e, posteriormente, ponderar seu equivalente numérico pela relação entre sua potência, e a potência total de climatizadores instalados na edificação. A Tabela 21 apresenta todas as informações relativas à classificação dos aparelhos do segundo pavimento, já com as ponderações em relação a potência total da edificação. Já a Tabela 22 apresenta os mesmos dados, para os aparelhos do térreo:

Tabela 21 – Ponderação dos condicionadores de ar do segundo pavimento

Sala	Potência Total (W)	Potência BTU/h	Eficiência	EQ.NUM	Ponderação	Ponderação EQ.NUM	Modelo
205	14070	48000	C	3	0,049638056	0,148914168	York YOEA48FS-AFH-V
204	17590	60000	D	2	0,06204757	0,12409514	York YOKA60FS-AFH-V
203	14070	48000	C	3	0,049638056	0,148914168	York YOEA48FS-AFH-V
202	14070	48000	C	3	0,049638056	0,148914168	York YOEA48FS-AFH-V
201	14070	48000	C	3	0,049638056	0,148914168	York YOEA48FS-AFH-V
210	5270	18000	A	5	0,018614271	0,093071355	Springer Midea
206	2637	9000	A	5	0,009307135	0,046535677	Electrolux
206	3516	12000	A	5	0,012409514	0,06204757	Gree
207	5274	18000	A	5	0,018614271	0,093071355	Samsung
208	14064	48000	C	3	0,049638056	0,148914168	Rheen
209	6446	22000	A	5	0,022750776	0,113753878	Gree

Fonte: Autor

Tabela 22 – Ponderação dos condicionadores de ar do térreo

Sala	Potência (W)	Potência (BTU/h)	Eficiência	Eq.Num	Ponderação	Ponderação Eq.Num	Marca/ Modelo
106	5274	18000	A	5	0,01861427	0,093071355	Samsung
106	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
107	3241	12000	B	4	0,01240951	0,049638056	Rheen
108	3241	12000	B	4	0,01240951	0,049638056	Rheen
108	3241	12000	B	4	0,01240951	0,049638056	Rheen
108	3516	12000	A	5	0,01240951	0,06204757	Samsung
108	7032	24000	C	3	0,02481903	0,074457084	Rheen
109	2051	7000	B	4	0,00723888	0,028955533	Rheen
110	2051	7000	B	4	0,00723888	0,028955533	Rheen
111	10548	36000	D	2	0,03722854	0,07457084	Rheen
111	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
111	3516	12000	A	5	0,01240951	0,06204757	Gree
111	14064	48000	E	1	0,04963806	0,049638056	Rheen
111	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
101	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
101	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
101	14070	48000	C	3	0,04963806	0,148914168	York
102	14070	48000	C	3	0,04963806	0,148914168	York
102	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
102	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
102	2637	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Springer Midea
103	14064	48000	C	3	0,04963806	0,148914168	York de Teto
103	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
103	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
103	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
104	2820	12000	A	5	0,01240951	0,06204757	Springer de Midea
104	3516	9000	B	4	0,00930714	0,037228542	York
104	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
104	14070	48000	C	3	0,04963806	0,148914168	York YOEA48FS-AFH-V
105	5274	18000	A	5	0,01861427	0,093071355	Agratto
105	5274	18000	A	5	0,01861427	0,093071355	Agratto
105	2820	9000	A	5	0,00930714	0,046535677	Electrolux
105	6446	22000	A	5	0,02275078	0,113753578	Gree

Fonte: Autor

Analisando as ponderações e os níveis de eficiência, foi possível verificar que a maioria dos aparelhos possuem classificação A. Entretanto, foi possível observar também que os aparelhos de maior potência possuíam classificações piores, o que certamente geraria um efeito grande na ponderação. A Tabela 23 apresenta o somatório da potência de condicionadores de Ar por nível de eficiência, seu equivalente numérico, e a ponderação que gera o Eq.NumAC, ou equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar.

Tabela 23 – Ponderação do sistema de condicionamento de ar

Potência total de A.C, Potência (BTU/h) por Nível de Eficiência	Nº de A.C	Eq.Num	Ponderação
Nível A	25	5	1,592554292
Nível B	6	4	0,244053775
Nível C	10	3	1,414684592
Nível D	2	2	0,198552223
Nível E	1	1	0,049638056
Potência Total	-	-	-
Eq.Num Sistema	-	-	3,4995

Fonte: Autor

O valor obtido encontra-se na faixa de classificação do nível C de eficiência energética, pois está abaixo do valor 4, equivalente numérico da classificação B. Portanto, o sistema de condicionamento de ar da edificação possui classificação nível C.

Os pré-requisitos dos sistemas de Ar Condicionado, relativos ao isolamento de dutos, e condicionamento de ar por aquecimento, são necessários somente para a obtenção de etiqueta nível A. No caso em análise, portanto, não se faz necessário tal análise, uma vez que o nível do sistema de climatização da edificação é de nível C. Além disso, caso fosse necessário, esta seria uma limitação do trabalho, principalmente em relação ao isolamento de dutos, uma vez que, como citado anteriormente, os projetos disponibilizados pelo DPAE, não especificam informações do isolamento dos dutos. Felizmente, devido ao nível de eficiência do sistema, esta limitação não influenciou no estudo.

5.4.5 Determinação da Eficiência Energética da Edificação

Obtidos todos os parâmetros necessários, a próxima e última etapa do processo de etiquetagem foi a aplicação da equação que determina a eficiência energética da edificação como um todo.

Além disso, ressalta-se que todo o ambiente de permanência prolongada da edificação, possui um aparelho de ar-condicionado, não havendo, portanto, a necessidade da avaliação da ventilação natural. Quanto a bonificações, a edificação não apresentou quaisquer elementos que pudessem ser enquadrados como bonificação. Aplica-se, finalmente, a equação (7), apresentada anteriormente, com os seguintes valores para os parâmetros:

$$\text{Eq.NumEnv} = 3$$

$$\text{Eq.NumDPI} = 3$$

$$\text{Eq.NumCA} = 3,4995$$

$$\text{APT} - \text{Área de banheiros, refeitório e escadas} = 136,251$$

$$\text{AC} - \text{Demais áreas dos ambientes fechados} = 1225,909$$

$$\text{AU} - \text{Soma das áreas} = 1362,160$$

Logo,

$$PT = 0,30 * \left[\left(3 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] + 0,30 * (3,349) + 0,40 \left[\left(3,4995 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] = 3,32$$

E assim, comparando com os limites de potência para o nível de eficiência geral da edificação, apresentado na Tabela 09, o nível de eficiência energética da edificação seguiu a tendência de ser classificado em nível C, assim como foram avaliados todos os sistemas individualmente.

5.4.6 Análise Comparativa dos Resultados, Através da Ferramenta Webprescritivo

De forma a validar os resultados obtidos através das tabelas desenvolvidas pelo autor, seguindo as instruções do RTQ-C, utilizou-se o *software* Webprescritivo, desenvolvido pelo LABEEE em parceria com a PBE Edifica, para aplicação do método prescritivo.

De forma a buscar a melhor validação possível dos cálculos realizados pelo autor, adotou-se o critério de calcular tudo o que fosse possível calcular dentro do programa, no próprio programa. É o caso dos fatores K e RCR, por exemplo. Outros parâmetros, como o PAF_T , Áreas, e ângulos de sombreamento, foram apenas adicionados, uma vez que não há forma de calculá-los no *software*. A seguir, apresenta-se nas Figuras 21 e 22, os procedimentos realizados no Webprescritivo em relação a avaliação de envoltória.

Figura 21 – Cálculos da envoltória no Webprescritivo sem os pré-requisitos considerados

Pré-requisitos gerais

Circuitos elétricos

- A edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final
- A edificação não possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final ou não se aplica

Aquecimento de água

- Atende pré-requisito para A
- Atende pré-requisito para B
- Atende pré-requisito para C
- A edificação possui isolamento de tubulações
- Este pré-requisito não se aplica à edificação
- Não atende

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 2 Cidade Araranguá SC

Pré-requisitos

Dados Dimensionais da Edificação		Características das Aberturas	
A_{TOT}	2468.8 m ²	FA _i	0.43
A_{PCOB}	1068.76 m ²	FS	0.457
A_{PE}	500 m ²	PAF_T	22.89 %
V_{TOT}	14188.49 m ³	PAF_O	18.46 %
A_{ENV}	2452.68 m ²	AVS	40.70 °
		AHS	45.00 °

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

Calcular Eficiência Limpar

A

Fonte: Autor

Figura 22 – Cálculos da envoltória no Webprescritivo com os pré-requisitos considerados

Pré-requisitos gerais

Circuitos elétricos

- A edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final
- A edificação não possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final ou não se aplica

Aquecimento de água

- Atende pré-requisito para A
- Atende pré-requisito para B
- Atende pré-requisito para C
- A edificação possui isolamento de tubulações
- Este pré-requisito não se aplica à edificação
- Não atende

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 2 Cidade Araranguá SC

Pré-requisitos

U _{COB-AC}	1.54	W/(m ² K)	U _{COB}	0.432	%
U _{COB-ANC}	1.54	W/(m ² K)	CT _{PAR}	0	kJ/(m ² K)
U _{PAR}	2.28	W/(m ² K)	U _{PAR}	0.486	%
PAZ	0	%	FS	0	

Dados Dimensionais da Edificação

A _{TOT}	2488.8	m ²	FA: 0.43
A _{PCOB}	1068.76	m ²	
A _{PE}	500	m ²	
V _{TOT}	14188.49	m ³	FF: 0.17
A _{ENV}	2452.68	m ²	

Características das Aberturas

FS	0.457
PAF _T	22.89
PAF _O	18.48
AVS	40.70
AHS	45.00

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados.

Calcular Eficiência Limpar

C

Fonte: Autor

A Figura 21 apresentou a apresentação dos parâmetros da envoltória, antes da aplicação dos pré-requisitos de Transmitância e Absortância. O resultado obtido foi o mesmo daquilo obtido nas tabelas desenvolvidas pelo autor. Já na Figura 22, foi apresentado o resultado da envoltória, com os pré-requisitos de transmitância e absortância. Como esperado, o nível de eficiência caiu para nível C, conforme os resultados obtidos também nas tabelas do autor. O Webprescritivo ainda apresenta, logo acima da eficiência obtida, uma observação em azul com os dizeres “O nível de eficiência foi limitado pela transmitância térmica das paredes”, procurando deixar claro que o nível de eficiência teve a influência do pré-requisito. Portanto, em relação ao sistema de envoltória, os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos nas tabelas de desenvolvimento próprio do autor.

A Figura 23 apresenta o cálculo relativo ao sistema de iluminação.

Figura 23 – Cálculos do Sistema de Iluminação no Webprescritivo

Iluminação

Por áreas do edifício Por atividades do edifício

Pré-requisitos por ambientes

	-	Divisão de circuitos	+	Contribuição da luz natural	Desligamento automático	Atividade	Uso	Área [m ²]	Potência [W]	Limite do Ambiente					
1	Atende	▼	Não atende	▼	Não se aplica	▼	Circulação	▼	Circulação	▼	112.42	791.40	L	2.0 m	
2	Atende	▼	Não atende	▼	Não se aplica	▼	Escritório □ Planta livre	▼	Escritório □ Planta livre	▼	219.72	2438.2	<input type="checkbox"/> K 0.64	<input type="checkbox"/> RCR 3.06	↑
3	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Banheiros	▼	Banheiros	▼	79.532	494.60	<input type="checkbox"/> K 1.46	<input type="checkbox"/> RCR 3.42	↑
4	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Casa de Máquinas	▼	Casa de Máquinas	▼	09.720	70.800	<input type="checkbox"/> K 2.87	<input type="checkbox"/> RCR 1.68	↑
5	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Laboratórios	▼	Médico/Ind./Pesq.	▼	120.68	981.60	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> RCR	↑
6	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Sala de Reuniões. Cor	▼	Sala de Reuniões. Conferência. Mult	▼	167.24	3128.4	<input type="checkbox"/> K 3.97	<input type="checkbox"/> RCR 1.52	↑
7	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Sala de Reuniões. Cor	▼	Sala de Reuniões. Conferência. Mult	▼	90.528	1043.4	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> RCR	↑
8	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Refeitório	▼	Refeitório	▼	19.127	216.60	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> RCR	↑
9	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Sala de Aula. Treinam	▼	Sala de Aula. Treinamento	▼	505.60	6931.2	<input type="checkbox"/> K 2.81	<input type="checkbox"/> RCR 3.14	↑
10	Atende	▼	Atende	▼	Atende	▼	Escadas	▼	Escadas	▼	37.592	141.60	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> RCR	↑

Calcular Eficiência Limpar



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

Fonte: Autor

Os resultados obtidos, assim como no sistema de envoltório, foram os mesmos encontrados pelos cálculos nas tabelas de desenvolvimento próprio de autor, inclusive os valores de K e RCR que foram calculados pelo próprio Webprescritivo, a partir dos dados de entrada necessários.

A Figura 24 apresenta o cálculo para o sistema de condicionamento de ar.

Figura 24 – Cálculo do Sistema de Condicionamento de Ar no 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	205	- 1 +	split ▼	48000	2.85	C
2	204	- 1 +	split ▼	60000	2.72	D
3	203	- 1 +	split ▼	48000	2.85	C
4	202	- 1 +	split ▼	48000	2.85	C
5	201	- 1 +	split ▼	48000	2.85	C
6	210	- 1 +	split ▼	18000	3.32	A
7	206	- 2 +	split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	12000	3.32	A
8	207	- 1 +	split ▼	18000	3.32	A
9	208	- 1 +	split ▼	48000	2.85	C
10	209	- 1 +	split ▼	22000	3.32	A
11	106	- 2 +	split ▼	18000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
13	108	- 4 +	split ▼	12000	3.21	B
			split ▼	12000	3.21	B
			split ▼	12000	3.32	A
			split ▼	24000	2.88	C
14	109	- 1 +	split ▼	7000	3.19	B
15	110	- 1 +	split ▼	7000	3.19	B
16	111	- 5 +	split ▼	36000	2.72	D
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	12000	3.32	A
			split ▼	48000	2.58	E
			split ▼	9000	3.32	A
17	101	- 3 +	split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	48000	2.85	C
			split ▼	48000	2.85	C
18	102	- 4 +	split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	48000	2.85	C
19	103	- 4 +	split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	12000	3.32	A
20	104	- 4 +	split ▼	9000	3.13	B
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	48000	2.85	C
			split ▼	18000	3.32	A
21	105	- 4 +	split ▼	18000	3.32	A
			split ▼	9000	3.32	A
			split ▼	22000	3.32	A

Calcular Eficiência Limpar



Fonte: Autor

Esse sistema, novamente, corroborou com os resultados obtidos pelo autor. Vale ressaltar a limitação na verificação dos resultados, uma vez que o Webprescritivo não apresenta os valores de equivalente numérico obtido.

Finalmente, a Figura 25 apresenta o cálculo da etiqueta geral da edificação.

Figura 25 – Cálculo da Eficiência Energética da Edificação no Webprescritivo

Etiqueta Geral

APT: 136.94999999 m² ?

ANC: 5.68434188808 m² ?

EqNumV: 1 ?

b: 0 ?

Calcular Eficiência Limpar

Pontuação: 3.32

C

Fonte: Autor

O resultado da etiqueta geral, ao contrário dos outros sistemas, apresenta também o valor obtido, e não apenas a etiqueta. Portanto, foi possível verificar, que tanto a etiqueta obtida, quanto a pontuação total, foi exatamente igual ao obtido pelo Webprescritivo. Dessa forma, a metodologia adotada pelo autor pode ser considerada válida e, os resultados obtidos, corretos.

5.4.7 Avaliação Geral da Aplicação da Metodologia de Etiquetagem e seus Resultados

Em termos de resultados, em uma avaliação individual de cada sistema, notou-se que a envoltória obteve um índice de consumo bastante satisfatório, atingindo basicamente a melhor pontuação possível. Esse fato ocorreu principalmente devido ao fator de forma, que para esta edificação está muito próximo do valor mínimo, e pelo percentual de abertura de fachadas, que se encontrou em um valor bastante aceitável, uma vez que autores referência nos conteúdos relativo a etiquetagem, como Carlo e Lamberts, afirmam que o valor ideal costuma variar entre 10%, e 40%. A relação entre o fator de forma baixo, e o percentual de abertura de fachadas baixo para mediano, tornam a edificação menos suscetível a trocas com o ambiente, mantendo uma temperatura interna mais estável, nem tão quente em dias quentes, e nem tão fria em dias frios.

Em relação ao sistema de iluminação, a classificação baixa já era esperada, uma vez que a edificação é, em sua quase totalidade, iluminada por lâmpadas fluorescentes, e a avaliação se dá por densidade de potência. Entretanto, foi preocupante notar que a metodologia atual pode, por exemplo, gerar uma boa classificação em edificações que possuam sistemas de iluminação fluorescente de baixa qualidade e conforto e, ao mesmo tempo, gerar uma péssima classificação em sistemas de iluminação fluorescentes que ofereçam conforto a seus usuários. Pode-se utilizar como exemplo, a comparação das salas de aula e salas multiuso, localizadas no segundo pavimento, com as áreas de circulação adjacentes às salas dos professores. Em resumo, o RTQ-C pressupõe o respeito à norma, mas não o exige, nem mesmo possui uma ferramenta avaliativa que garanta seu cumprimento.

Nas medições realizadas no segundo piso, os ambientes possuíam um nível de iluminação muito confortável, ideal para a realização das atividades, enquanto que, na classificação geral dos sistemas, principalmente salas de aula e as salas multiuso, sua avaliação ficou bastante ruim (níveis C e D, respectivamente). Já as áreas de circulação, mesmo já sem o aparato do luxímetro, apresentaram um nível de iluminação bastante desconfortável, chegando ao ponto de, em um dos ambientes, constar apenas uma luminária na porta de acesso, e o corredor perpendicular não possuir nenhum ponto de luz. Curiosamente, esta área, pela baixa potência instalada, recebeu classificação nível A.

Por fim, com relação aos sistemas de ar-condicionado, o resultado foi diretamente impactado pelo fato de os condicionadores de pior nível de eficiência, possuírem uma potência bem mais impactante. 58,6% dos aparelhos possuem etiqueta nível A, e 13,6%, etiqueta B. Entretanto, estes aparelhos, que representam 72,2% dos aparelhos da edificação, respondem por

apenas 37,95% da potência total instalada. A nível de comparação, os condicionadores com etiqueta C respondem por 47,16% da potência total instalada, e apenas 22,73% dos aparelhos da edificação. Entretanto, de todos os sistemas, o sistema de condicionamento de ar é o sistema mais fácil de aperfeiçoar. Inclusive, é inevitável sua melhoria uma vez que, como a edificação em estudo é uma instituição pública, para a substituição de qualquer um de seus condicionadores de ar, em cumprimento da Instrução Normativa 02, de 2014, devem ser adquiridos equipamentos etiquetados pelo PBE, em nível A.

Na avaliação do sistema de condicionamento de ar, ocorrem problemas tão ou mais impactantes, do que o problema do sistema de iluminação. Primeiramente, o fato de que a metodologia de determinação de eficiência, em casos de aparelhos etiquetados pela PBE, é extremamente falha ou, pode-se dizer, inexistente, na descrição obtida no regulamento. A determinação através das ponderações foi descoberta na leitura do trabalho de Lamberts *et al* (2015) que, juntamente com toda a equipe de desenvolvimento do RTQ-C, elaborou o estudo de caso em uma edificação exemplo. Além disso, não há nenhum parâmetro, ou cálculo, ou requisito, que combata o sub ou superdimensionamento de potência de ar-condicionado em determinado ambiente.

A avaliação de sistemas não etiquetados pelo PBE é mais abrangente, com abordagem a questões como análise de carga térmica e qualidade do ar. Faz-se necessária uma atualização da descrição de metodologia a ser seguida para a classificação de sistemas de condicionamento de ar que sejam etiquetados pelo PBE.

Portanto, para que o RTQ-C possa ser mais aceito no mercado brasileiro, precisa solucionar estes graves problemas. Em relação a iluminação, buscar uma metodologia que impeça questões como a abordada anteriormente, e que busque se aproximar da NBR 8995, uma vez que, na sociedade atual, não se pode afastar a questão de conforto, com eficiência. Projetistas buscam, de forma prioritária, proporcionar conforto ambiental aos seus clientes, e por isso trabalham seus projetos focados na norma brasileira de iluminação, que aborda os sistemas de iluminação com esta finalidade. Além disso, é sabido que, apesar de as lâmpadas tipo LED possuírem um tempo de vida útil bastante superior às fluorescentes, e uma eficiência melhor, seu custo inicial é bastante superior e, muitas vezes, inviável para consumidores. Se aproximar de NBR 8995 permitirá que o RTQ-C tenha uma maior visibilidade e aplicabilidade, se adequando a realidade do país em relação ao poder de consumo e tendências de mercado, para que possa se aproximar também dos profissionais da área. Logicamente que esta aproximação precisa ter um limite, uma vez que o regulamento tem como objetivo a avaliação da eficiência da edificação.

Já em relação ao sistema de condicionamento de ar, faz-se necessária uma abordagem metodológica mais clara na determinação da eficiência global do sistema, além da inclusão de parâmetros que controlem a questão de potência instalada nos ambientes, evitando consumo desnecessário de energia devido ao superdimensionamento do sistema. A apresentação atual deixa os profissionais bastante à vontade para avaliar a edificação da forma que lhe parecer mais lógica, e isso sem dúvida compromete sua aplicabilidade e credibilidade, dificultando significativamente sua expansão no mercado.

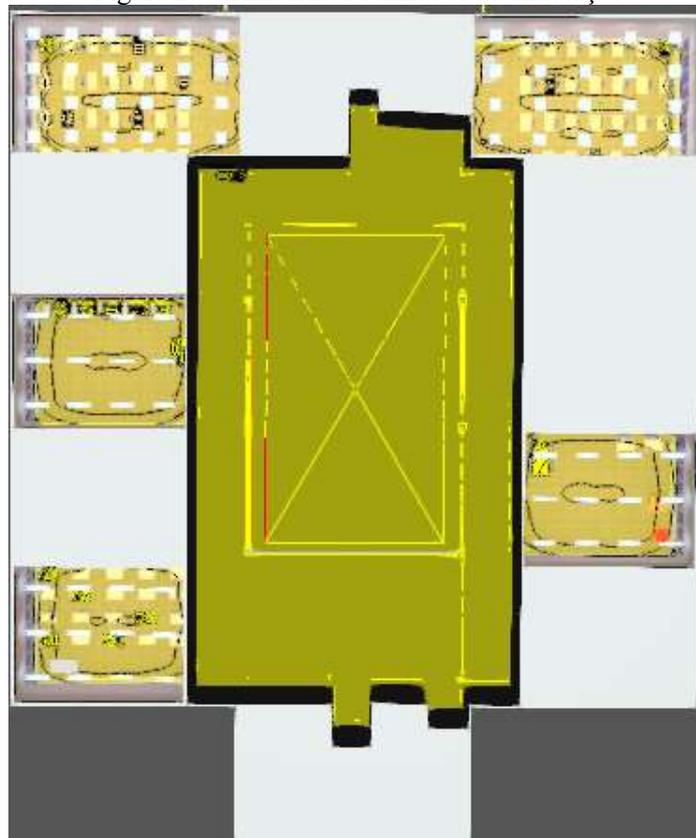
Por fim, em relação a envoltória, é fundamental que os órgãos responsáveis pelo programa de etiquetagem trabalhem, em paralelo, em um desenvolvimento de sistemas de consulta, com valores de transmitância e absorvância para um leque maior de componentes e composições da envoltória das edificações, para que o pré-requisito possa ser aplicado com maior efetividade e confiabilidade em relação aos resultados obtidos.

5.5 SIMULAÇÃO LUMINOTÉCNICA DA ILUMINAÇÃO EXISTENTE

A simulação foi iniciada com a definição dos ambientes que seriam avaliados, dentre todos os ambientes da edificação, através da importação da planta baixa do segundo pavimento, que foi desenvolvida no AutoCAD. Como o objetivo é verificar a relação entre a etiquetagem da edificação, e o conforto que a mesma oferece aos usuários, optou-se pela avaliação de cinco ambientes onde se realizam duas atividades que obtiveram uma classificação ruim na análise do sistema de iluminação, através do método das atividades, do RTQ-C. São eles: Três salas de aula, 205, 203, e 207 (que obtiveram classificação nível C), e as duas salas multiuso, 201 e 210, (classificadas em nível D).

Definidos os ambientes a serem avaliados, o passo seguinte foi realizar a caracterização destes ambientes. Para isso, buscou-se replicar de forma próxima ao que foi observado in loco, características como piso, cores das paredes, janelas, portas, e os itens que caracterizassem o ambiente pela sua utilização, como carteiras, computadores e outros itens. A Figura 26 apresenta uma imagem superior dos ambientes que foram analisados.

Figura 26 – Ambientes utilizados na simulação



Fonte: Autor

Caracterizado o ambiente, partiu-se para a identificação das luminárias utilizadas atualmente nos ambientes em avaliação. O memorial descritivo da edificação não especificou um tipo e modelo de luminária a ser utilizada, apenas sua potência, e o nível de lúmens que deveria oferecer, e o tipo de lâmpada que, em toda a edificação, eram lâmpadas fluorescentes. Desta forma, utilizando o catálogo da Lumicenter, foram obtidos dois modelos idênticos aos utilizados atualmente, em relação ao descrito no memorial do sistema em termos de potência, dimensão da luminária, e característica das lâmpadas (tubulares T8), além da característica de serem aletas, o modelo CAC13-S, com 2 lâmpadas tubulares T8, de 32 W e 4400 lm, e aletas planas em chapa de aço, para as salas de aula 205, 203 e 207, e o modelo CAC13-S416, com 4

lâmpadas tubulares compactas, de 16 W, e aletas planas de chapa de aço, para as salas multiuso 201, e 210. Os modelos escolhidos são apresentados, respectivamente, nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Modelo de luminária 2x32 W utilizada para a simulação



Fonte: Lumicenter

Figura 28 – Modelo de luminária 4x16 W utilizada para a simulação

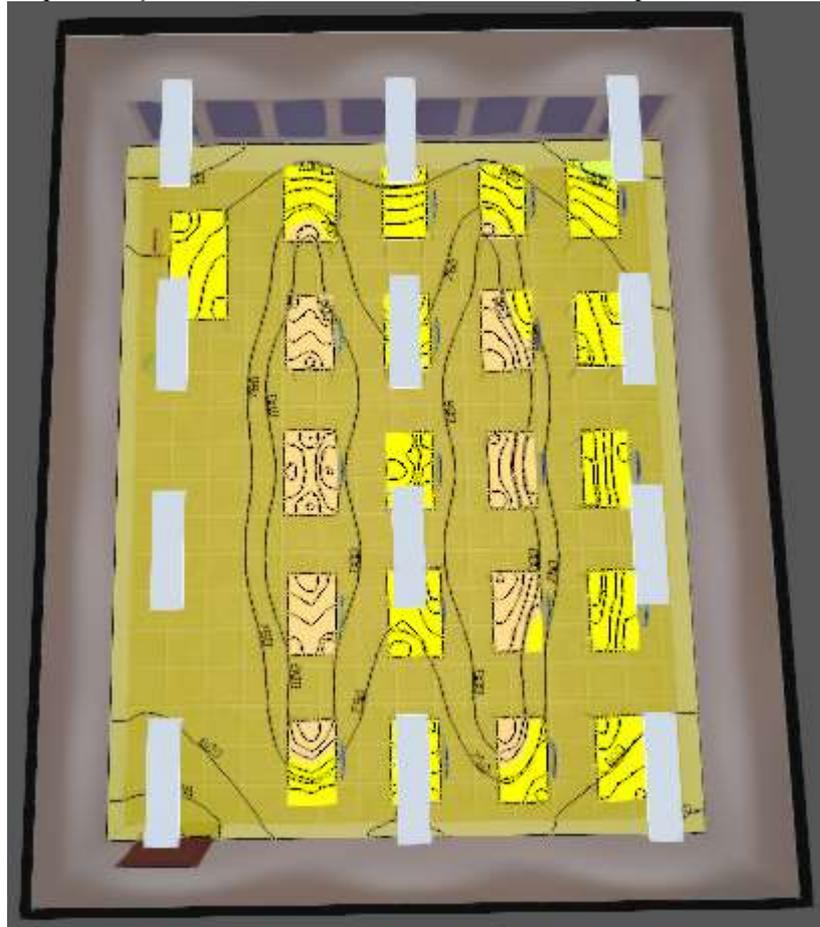


Fonte: Lumicenter

As medições utilizaram como plano de trabalho, uma altura de 0,80 m do piso, referente à altura do plano das carteiras e mesas dos computadores, que é onde ocorrem a realização da maior parte das tarefas realizadas pelos ocupantes dos ambientes. Dados de reflexão de pisos, paredes e tetos são automaticamente definidos pelo DiaLux, de acordo com as especificações de materiais e cores definidas. No caso dos ambientes em estudo, estes são definidos por tetos e paredes brancas, com piso de cerâmica de cor marfim escuro, com mesas de cor marfim claro, e cadeiras azuis. Os computadores possuem cores diferentes. Para o cálculo, foram definidos de forma uniforme, com telas e teclados pretos, e gabinetes brancos. Existem ainda lixeiras, de cor escura, e as mesas dos professores, em tom cinza. Janelas possuem acabamento na cor de alumínio, e vidros transparentes.

Em seu catálogo de objetos, o *software* não disponibiliza cadeiras semelhantes às vistas no local. Foram, portanto, utilizadas carteiras diferentes, porém com as mesmas cores visualizadas nos ambientes. A Figura 29 apresenta a representação de um dos ambientes avaliados:

Figura 29 – Representação de um dos ambientes avaliados, com os planos de trabalho (Sala 205)



Fonte: Autor

Realizada a simulação, foram obtidos os valores médios das iluminâncias médias dos ambientes. Os valores são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores de iluminância obtidos pelo sistema de iluminação artificial em utilização através de simulação

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Iluminância Normativa (lx)
203	0,80	615	500
205	0,80	607	500
207	0,80	615	500
201	0,80	870	500
210	0,80	875	500

Fonte: Autor

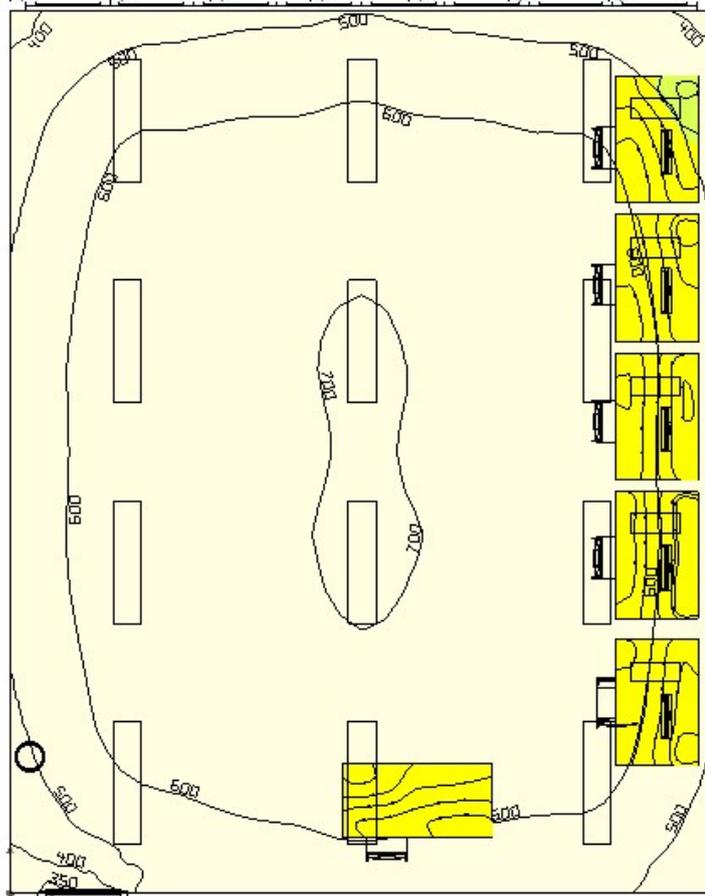
Os resultados superam os valores mínimos de iluminância dos ambientes avaliados, que são utilizados atualmente para aulas, preparação de aulas, e atividade em computadores, sem caracterizar iluminação em excesso. A NBR 8995 determina, em sua seção 5, que salas de aula que contenham atividades noturnas, devem obter uma iluminância média de 500 lx, assim como atividades em computadores, e auditórios ou sala de conferência, que são outras atividades que as salas 201 e 210 podem receber, segundo projeto. Portanto, a iluminação mostrou-se adequada.

Outra conclusão da avaliação trata da iluminância obtida no entorno imediato dos planos de trabalho, que para atividade com iluminância de tarefa de 500 lx, exige uma iluminância de entorno imediato mínima de 300 lx. Novamente, os resultados apontaram

valores ainda melhores. As figuras permitem visualizar que as iluminações de entornos imediatos, como cantos de sala e região próxima à porta, obtiveram valores superiores aos mínimos exigidos.

Além disso, o RTQ determina um fator de uniformidade nos planos de trabalho, de forma que a diferença entre a iluminância média, e mínima, não exceda uma diferença de 30%, de forma a não gerar impactos visuais negativos, que influenciem negativamente na capacidade de o trabalhador executar suas ações. Pensando nisso, foram adicionados na simulação, diversos planos de uso, de forma que pudessem ser avaliados os fatores de uniformidade de alguns planos de trabalho em cada ambiente analisado. As Figuras 30, 31, 32, 33 e 34, apresentam imagens dos ambientes simulados, com seus planos de trabalho avaliados em destaque. As Tabelas 25, 26, 27, 28, e 29 apresentam os dados obtidos em cada um destes planos, e os compara com os dados medidos *in loco*, nos mesmos pontos e na mesma altura utilizadas na simulação, de forma a validar ou não a simulação.

Figura 30 – Sala 203 com os planos de trabalho selecionados destacados



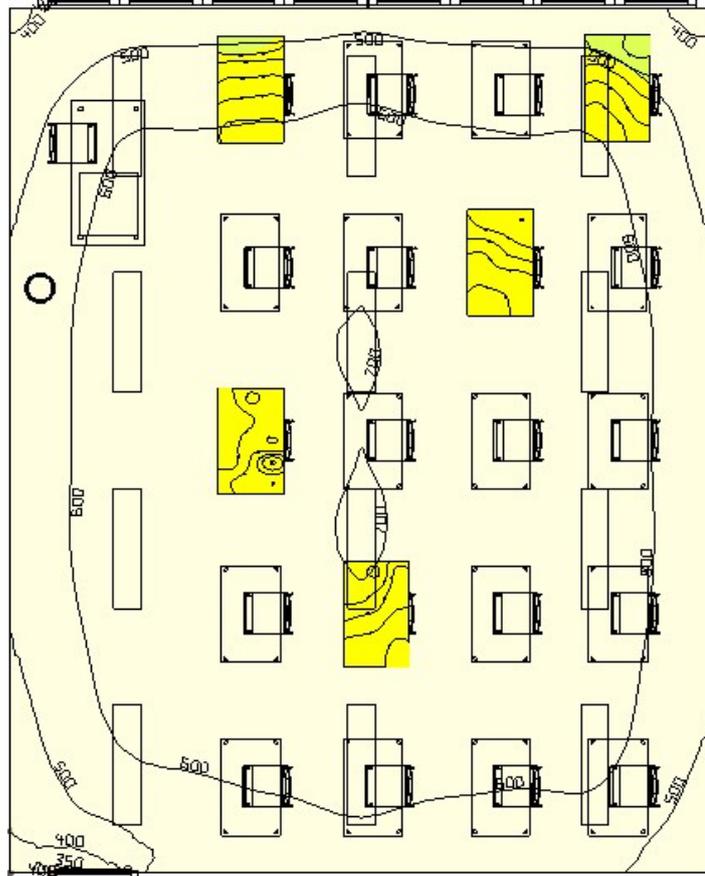
Fonte: Autor

Tabela 25 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 203

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Medida (lx)	Iluminância Média - Software (lx)	Fator de Regularidade
203-1	0,80	495	537	0,88
203-2	0,80	565	633	0,96
203-3	0,80	533	581	0,92
203-4	0,80	554	604	0,93
203-5	0,80	522	601	0,93
203-6	0,80	521	586	0,91

Fonte: Autor

Figura 31 – Sala 205 com os planos de trabalho selecionados destacados



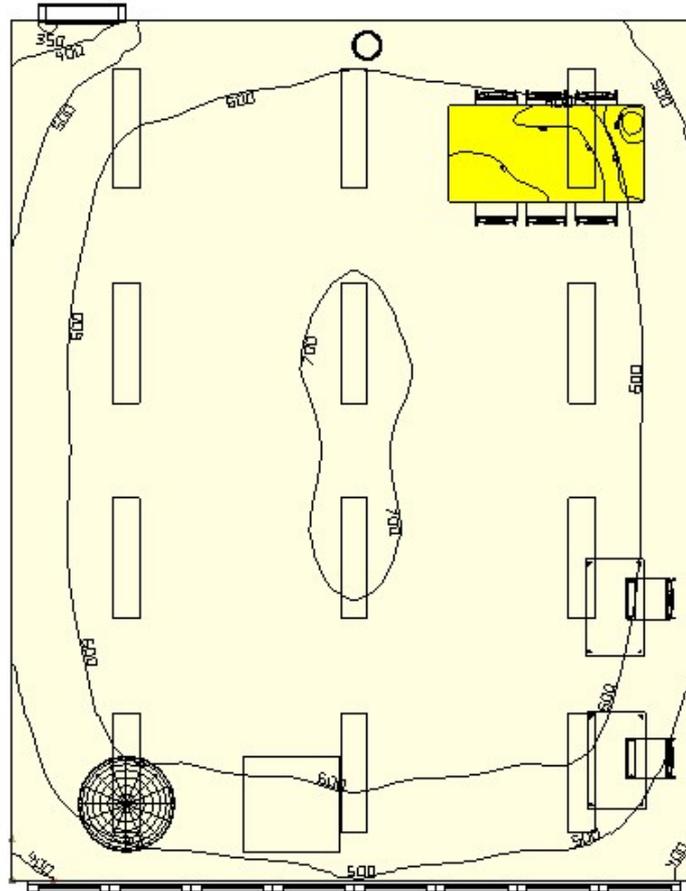
Fonte: Autor

Tabela 26 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 205

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Medida (lx)	Iluminância Média - Software (lx)	Fator de Regularidade
205-1	0,80	492	535	0,86
205-2	0,80	532	561	0,89
205-3	0,80	598	681	1,00
205-4	0,80	588	659	0,97
205-5	0,80	595	692	0,98

Fonte: Autor

Figura 32 – Sala 207 com os planos de trabalho selecionados destacados



Fonte: Autor

Tabela 27 – Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 207

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Medida (lx)	Iluminância Média - Software (lx)	Fator de Regularidade
207-1	0,80	500	603	0,91

Fonte: Autor

Figura 33 – Sala 201 com os planos de trabalho selecionados destacados



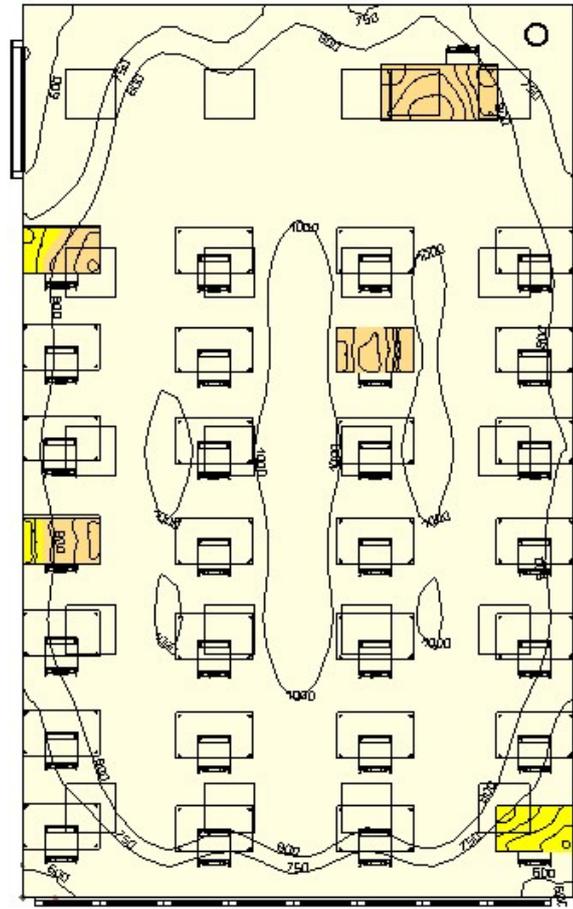
Fonte: Autor

Tabela 28 - Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 201

Ambiente	Altura do Piso (m)	Illuminância Medida (lx)	Illuminância Média - Software (lx)	Fator de Regularidade
201-1	0,80	770	891	0,92
201-2	0,80	782	892	0,97
201-3	0,80	812	963	0,98
201-4	0,80	702	803	0,95
201-5	0,80	855	955	0,98
201-6	0,80	703	813	0,94
201-7	0,80	604	671	0,93

Fonte: Autor

Figura 34 – Sala 210 com os planos de trabalho selecionados destacados



Fonte: Autor

Tabela 29 - Avaliação dos parâmetros do plano de trabalho da sala 210

Ambiente	Altura do Piso (m)	Illuminância Medida (lx)	Illuminância Média - Software (lx)	Fator de Regularidade
210-1	0,80	762	887	0,92
210-2	0,80	737	811	0,97
210-3	0,80	904	965	0,98
210-4	0,80	706	802	0,95
210-5	0,80	645	703	0,92

Fonte: Autor

Os dados obtidos comprovam que os planos de trabalho oferecem um fator de regularidade excelente para o desenvolvimento das atividades, bastante acima dos 70%

exigidos pela norma. Os resultados apresentados mostram que os ambientes avaliados, em termos de conforto visual, oferecem condições adequadas para que seus ocupantes possuam condições ambientais de desenvolver bem suas atividades.

Com relação aos valores medidos, observaram-se discrepâncias médias entre 10 e 15%. Estas discrepâncias podem ser justificadas por questões como desgaste das luminárias, e também pelas características dos materiais do ambiente, que naturalmente não conseguem ser replicados de forma religiosa ao projeto simulado. Entretanto, os resultados apresentando são bastante próximos, e fica evidente que os ambientes avaliados oferecem conforto visual a seus ocupantes.

5.6 AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO

Baseado nos resultados obtidos com a aplicação do método prescritivo na edificação em estudo, vislumbrou-se como uma possível solução, a fim de obter uma melhoria no nível da etiqueta geral, realizar a substituição dos 3 condicionadores mais ineficientes da edificação, sendo 2 deles de nível D, e um deles de nível E, todos de 48.000 BTU/h, localizados na sala 204, e em dois laboratórios da sala 111, por 3 novos condicionadores, com a mesma potência de 48.000 BTU/h, da marca Springer Carrier, de nível A, etiquetado através do PBE referente a condicionadores, conforme tabela disponibilizado pelo Inmetro.

Esta alternativa se apresenta como a mais viável e fácil de realização, uma vez que se trata de uma tendência natural, devido ao descrito na IN nº2, de 2014. Como a substituição de condicionadores de ar se enquadram em projetos *retrofits*, seria obrigatório que o aparelho escolhido fosse de nível A. A Tabela 30 apresenta a nova ponderação dos condicionadores de ar, sobre a potência total instalada:

Tabela 30 – Ponderação do Sistema de Condicionamento artificial, com a substituição dos condicionadores nível D e E

Potência total de A.C, por Nível de Eficiência	Potência (BTU/h)	Nº de A.C	Eq.Num	Ponderação
Nível A	452000	28	5	2,337125129
Nível B	59000	6	4	0,244053775
Nível C	456000	10	3	1,414684592
Potência Total	967000	-	-	-
Eq.Num Sistema	-	-	-	3,9959

Fonte: Autor

Diferente da avaliação do sistema real, neste cenário a potência de condicionamento em nível A passa a representar 46,74% da potência total, gerando um impacto maior na avaliação final do sistema, que recebe um Eq.NumCA de 3,996, que será aproximado a 4 por arredondamento, obtendo a etiqueta de nível B.

Assim, aplicando o novo equivalente numérico na equação (7), torna-se possível atingir a avaliação da edificação em nível B, conforme apresentado a seguir:

$$PT = 0,30 * \left[\left(3 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] + 0,30 * (3) + 0,40 \left[\left(4 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] = 3,50$$

$$4,5 > 3,5 = 3,5 = \text{Nível B}$$

Com o resultado obtido, conclui-se a eficácia da proposta, que eleva o nível da edificação a um bom nível, sem que seja necessário qualquer tipo de reforma estrutural, ou nas

instalações, algo que seria muito mais burocrático, demorado e, provavelmente, na condição atual da economia do país, inviável.

Entretanto, apenas para título de avaliação teórica, o estudo propôs uma outra melhoria, com a substituição das luminárias fluorescentes instaladas nas salas que registraram pior classificação na avaliação do sistema de iluminação, que seriam as salas de aula, e as salas multiuso. Porém, para esta alteração surtir o efeito desejado no incremento da avaliação, seria necessário a adequação das instalações, de forma a proporcionar o aproveitamento da iluminação natural, rearranjando os circuitos de todos os ambientes que possuem mais de uma fileira de iluminação, e que possuam em suas envoltas, aberturas ao meio externo. Com esta proposta, adotaram-se os modelos EAA06-S, para os ambientes multiuso, e EAA05-S, para as salas de aula. Os modelos são apresentados nas Figuras 35 e 36. O modelo EAA06-S possui uma potência nominal de 37 W, ante os 64 W do modelo atualmente utilizado nas salas multiuso, que adicionalmente, por se tratarem de lâmpadas fluorescentes, necessitam de reatores que, como visto anteriormente, geram uma adição de potência consumida nas luminárias, ao contrário da iluminação LED, que não demanda desse componente.

Figura 35 – Modelo de luminária EAA05-S



Fonte: Autor

Figura 36 – Modelo de luminária EAA06-S



Fonte: Autor

Dessa forma, realizou-se primeiramente o cálculo da nova potência instalada para as salas de aula (P_{SA}), e sala multiuso (P_{MU}). Em relação às salas de aula, são 8 salas, cada um com 12 luminárias, agora de 37 W de potência. Portanto, a potência total instalada pelo sistema é obtida através da equação (14):

$$P_{SA} = 8salas * 12luminárias * 37 W = 3.552,0 W \quad (14)$$

Já em relação às salas multiuso, são duas salas, uma com 20 luminárias, e outra com 24 luminárias, cada um com uma potência de, agora, 37 W. Portanto, a potência total instalada pelo sistema é obtida através da equação (15):

$$P_{MU} = 44 \text{ luminárias} * 37 W = 1.628,0 W \quad (15)$$

Dessa forma, obtém-se uma eficiência do sistema de avaliação da iluminação, conforme apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 – Eficiência Energética do Sistema de Iluminação com as melhorias propostas

	Área Total Iluminada (M ²)	DPIL – A (W/M ²)	DPIL – B (W/M ²)	DPIL – C (W/M ²)	DPIL – D (W/M ²)	Potência Inst Total (W)	DPLA – (W/M ²)	Nível de Eficiência
Circulação	112,420	7,100	8,520	9,940	11,360	791,400	7,040	A
Escritórios	219,723	10,500	12,600	14,700	16,800	2438,200	11,097	B
Banheiros	79,532	5,000	6,000	7,000	8,000	494,600	6,219	C
Escadas	37,592	7,400	8,880	10,360	11,840	141,600	3,767	A
Casa de Máquinas	9,720	6,000	7,200	8,400	9,600	70,800	7,284	C
Sala Multiuso	167,236	11,900	14,280	16,660	19,040	1628,000	9,735	A
Lab. de Pesquisa	120,681	10,200	12,240	14,280	16,320	981,600	8,134	A
Sala de Reunião	90,528	11,900	14,280	16,660	19,040	1043,400	11,526	A
Salas de Aula	505,601	10,200	12,240	14,280	16,320	3552,000	7,025	A
Refeitório	19,127	11,500	13,800	16,100	18,400	216,600	11,324	A
Geral	1362,160	13514,865	16217,838	18920,811	21623,785	11358,200		A

Fonte: Autor

Desta forma, o sistema passa a receber etiqueta de nível A, considerando a correção do acionamento dos circuitos, de forma a aproveitar a iluminação natural e cumprir o pré-requisito que permite a obtenção de etiqueta A e B para o sistema de iluminação, permite que a edificação receba, portanto, a avaliação máxima do sistema, obtenção ENCE. Assim, aplicando o novo equivalente numérico na equação (7), é possível identificar o impacto dessa melhoria na classificação geral da edificação:

$$PT = 0,30 * \left[\left(3 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] + 0,30 * (5) + 0,40 \left[\left(4 * \frac{1225,909}{1362,160} \right) + \left(\frac{136,251}{1362,160} * 5 \right) \right] = 4,50$$

$$4,5 > 4,10 > 3,5 = \text{Nível B}$$

Portanto, em relação a classificação geral, não há uma melhoria, ao contrário do verificado na classificação do sistema isolado.

A troca das lâmpadas fluorescentes para lâmpadas de LED nas áreas multiuso e salas de aula do segundo pavimento, geraram ainda uma redução de 52,1% na potência total instalada das salas multiuso, e 51,2% nas salas de aula, e a partir disso, fato impactado diretamente na Densidade de Potência de Iluminação do Ambiente (DPIA), o que gerou o aumento da classificação do sistema, sem acrescentar prejuízo ao conforto luminotécnico. Entretanto, como apresentado anteriormente, o RTQ-C falha em, na sua metodologia prescritiva, não gerar nenhum item que permita avaliar a qualidade da iluminação instalada. Isso acontece devido ao fato de o RTQ-C avaliar apenas a potência, e não a eficiência da iluminação. Apesar disso, como o presente estudo visa avaliar também o conforto visual dos ocupantes da edificação, através do *software* Dialux, foi realizada uma nova simulação, com os novos modelos de luminárias, de forma a avaliar se estes novos sistemas geram a iluminância média normativa de, no mínimo, 500 lx, e o fator de uniformidade nos planos de trabalho avaliados anteriormente. A Tabela 32 apresenta os resultados da iluminância média obtida com a simulação. Já as Tabelas 33 a 37, apresentam as medições nos planos de trabalho de cada um dos ambientes avaliados.

Tabela 32 – Valores de iluminância obtidos pelo sistema de iluminação artificial proposto

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Iluminância Normativa (lux)
203	0,80	585	500
205	0,80	598	500
207	0,80	602	500
201	0,80	842	500
210	0,80	865	500

Fonte: Autor

Os resultados apresentam uma pequena redução nos valores obtidos, em comparação ao sistema fluorescente, sem gerar, do ponto de vista da iluminância média, qualquer prejuízo ao conforto visual dos ocupantes dos ambientes.

Tabela 33 – Avaliação dos parâmetros dos planos de trabalho selecionados da sala 203

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Fator de Regularidade
203-1	0,80	507	0,92
203-2	0,80	633	0,90
203-3	0,80	611	0,97
203-4	0,80	614	0,98
203-5	0,80	631	0,98
203-6	0,80	599	0,96

Fonte: Autor

Tabela 34 – Avaliação dos parâmetros dos planos de trabalho selecionados da sala 205

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Fator de Regularidade
205-1	0,80	522	0,87
205-2	0,80	589	0,86
205-3	0,80	611	0,98
205-4	0,80	614	0,92
205-5	0,80	631	0,98

Fonte: Autor

Tabela 35 – Avaliação dos parâmetros dos planos de trabalho selecionados da sala 207

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Fator de Regularidade
207-1	0,80	574	0,87

Fonte: Autor

Tabela 36 – Avaliação dos parâmetros dos planos de trabalho selecionados da sala 201

Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Fator de Regularidade
201-1	0,80	844	0,93
201-2	0,80	860	0,97
201-3	0,80	906	0,98
201-4	0,80	788	0,93
201-5	0,80	902	0,98
201-6	0,80	709	0,93
205-7	0,80	602	0,92

Fonte: Autor

Tabela 37 – Avaliação dos parâmetros dos planos de trabalho selecionados da sala 210

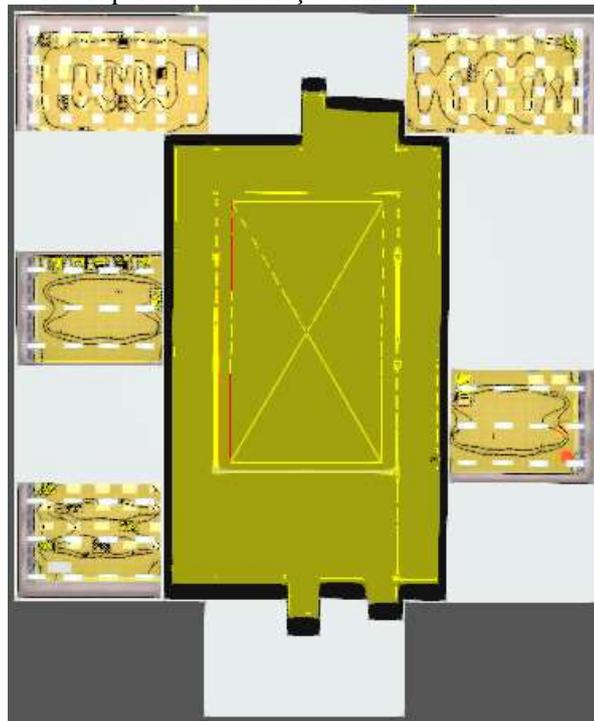
Ambiente	Altura do Piso (m)	Iluminância Média (lx)	Fator de Regularidade
210-1	0,80	899	0,93
210-2	0,80	821	0,94
210-3	0,80	955	0,98
210-4	0,80	789	0,92
210-5	0,80	707	0,91

Fonte: Autor

Ao analisar as Tabelas, é possível verificar que o fator de regularidade segue em níveis aceitáveis, bem como a iluminância média dos planos de trabalho, que segue respeitando a norma. Portanto, essa seria uma solução válida, no sentido de gerar um ganho significativo de eficiência energética, aliado a conforto visual.

A Figura 37 apresenta a simulação dos ambientes de LED vista de cima, que é interessante para visualização da distribuição da iluminação, e verificar as diferenças em relação ao sistema fluorescente:

Figura 37 – Vista superior da simulação luminotécnica no cenário proposto



Fonte: Autor

Finalmente, pode-se realizar um comparativo entre a edificação etiquetada com sua formatação atual, e a edificação etiquetada com as alterações propostas. O Comparativo é apresentado na Tabela 38, mostrando que, com simples ações, sem alterar a parte estrutural da edificação, é possível fazer a edificação do *campus* UFSC, em Araranguá, obter uma etiqueta de eficiência energética próxima do melhor valor possível, obtendo etiqueta B.

Tabela 38 – Comparativo final entre o resultado da etiquetagem dos sistemas atuais e dos sistemas propostos

Sistema	Edificação Atual	Edificação Melhorada
Envoltória	C	C
Iluminação	C	A
Condicionamento de Ar	C	B
Etiqueta Geral	C	B

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar a aplicabilidade do Regulamento Técnico de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços, e Públicas, em relação a sua metodologia prescritiva, e também verificar o conforto ambiental oferecido aos ocupantes da edificação, em alguns de seus ambientes.

A avaliação do sistema de envoltória possui um grande enfoque na análise das trocas térmicas entre meio interno e externo, visando mitigar essa troca. Até por isso, as variáveis com maior impacto na equação do índice de consumo, são o Fator de Forma, e o Percentual de Abertura de Fachadas. A aplicação do estudo verificou limitações nos materiais de apoio para cálculo dos pré-requisitos de transmitância e absortância. Além disso, o relatório possui uma descrição relativamente vaga com relação aos elementos que considera ou desconsidera, para o cálculo de cada parâmetro, o que pode gerar problemas na interpretação. Não à toa, mesmo profissionais da área civil, mais familiarizados aos termos abordados no RTQ-C, apresentaram dificuldades na interpretação de algumas partes da metodologia, como apresentado em trabalhos de referência.

Em linhas gerais, os sistemas de iluminação e condicionamento de ar possuem falhas consideráveis na aplicação de sua metodologia, que podem levar a erros significativos na avaliação de sistemas. Especificamente sobre o sistema de iluminação, não há nenhum controle de qualidade do sistema de iluminação, de forma que um sistema que ofereça condições precárias aos seus ocupantes, pode receber uma boa avaliação simplesmente por ter uma baixa quantidade de luminárias, sem que se avalie o tipo de iluminação, e a qualidade oferecida. Sem dúvida, se o país objetiva aumentar o engajamento na aplicação deste regulamento, que hoje está aplicado em apenas 220 edificações, este é um ponto que precisa ser melhorado.

Em relação ao sistema de condicionamento de ar, a forma vaga com que se descreve o procedimento de cálculo de eficiência para edificações que possuam condicionadores etiquetados pelo PBE é um gravíssimo problema. Além disso, a falta de critérios e/ou parâmetros classificatórios que controlem qualidade do ar, e o próprio superdimensionamento dos ambientes, o que não se aborda em nenhum momento na metodologia de cálculo para aparelhos etiquetados, é outra limitação que torna a avaliação do sistema bastante confusa metodologicamente, e de pouca relevância em termos de eficiência energética.

Em termos de aplicação da metodologia prescritiva, a edificação foi classificada em nível C, porém com grande potencial de atingir etiqueta geral de nível B através de alterações simples, que não envolvem questões estruturais da edificação, e que provavelmente irão ocorrer de forma natural, uma vez que são situações determinadas por lei no país, como a substituição dos condicionadores de ar menos eficientes, por outros com máxima eficiência.

Com relação ao conforto visual, a simulação luminotécnica corroborou com os dados medidos *in loco*, verificando que as iluminações oferecidas aos ambientes de estudo da edificação apresentam boas condições aos ocupantes, de forma com que estes possam desenvolver suas atividades de maneira eficaz. Ressalta-se, entretanto, que esta não pode ser uma conclusão definitiva em relação ao nível de conforto visual do ambiente. Para isso, faz-se necessário a avaliação dos ambientes considerando também a iluminação natural, e deve-se utilizar a NBR 5283 e NBR 15215, de forma a realizar as medições da forma indicada pela norma.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a realização de uma análise térmica da edificação, de forma a obter um diagnóstico definitivo sobre este item e sobre o conforto ambiental da edificação. Outro estudo interessante seria avaliar as aplicações da metodologia de simulação do RTQ-C atual, e das metodologias abordadas no novo RTQ-C, que está em desenvolvimento, comparando resultados e suas aplicabilidades na edificação em estudo. Também seria interessante a realização de uma simulação luminotécnica completa na

edificação, ou pelo menos nos ambientes avaliados neste estudo, utilizando as normativas de medição de iluminação abordadas neste trabalho, de forma a comparar os resultados obtidos pela metodologia adotada neste estudo, e o resultado deste estudo proposto, com os resultados obtidos através da metodologia normativa de medição.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS. Energy Star and Other Climate Protection Partnerships 2011 Annual Report. 2011. Disponível em: <http://www.energystar.gov/ia/partners/publications/pubdocs/2011_AnnualReport_Final_low-res_12-13-12.pdf?4680-4450>.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Energy Performance Certification of Buildings. France, 2010. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/buildings_certification.pdf>.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Energy Policies of IEA Countries – The United Kingdom. France, 2012.
- AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY. International Energy Efficiency Scorecard. Washington, 2012. Disponível em: <<http://www.aceee.org/portal/national-policy/international-scorecard>>.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting. France, 2006. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf>>.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 90.1 – 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Estados Unidos, 2010. Disponível em: <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>
- AMORIM, Claudia Naves David. Eficiência Energética em edificações: ações e perspectivas para a Universidade de Brasília. 2011. 21 p. Universidade para o século XXI: Educação e Gestão ambiental na Universidade de Brasília.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995: Iluminação de ambientes de trabalho. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 54 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 66 p
- BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. Daylight Design of Buildings. 2002, vol.1, 250p.
- BPIE, The Buildings Performance Institute Europe (Org.). Energy Performance Certificates across Europe: From design to implementation. Brussels, Belgium: Bpie, 2010.
- BRASIL. Constituição (2001). Decreto nº 4059, de 19 de dezembro de 2001.: Regulamentação Lei Nacional.
- BRASIL. Constituição (2001). Decreto nº10.295, de 17 de outubro de 2001.: Lei de Eficiência Energética.
- BRASIL. Constituição (2002). Decreto nº 4131, de 14 de fevereiro de 2002.

BRASIL. Constituição (2004). Lei nº 10847, de 15 de março de 2004.: Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências.

BRASIL. Decreto no 7.746, de 5 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3o da Lei no 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública - CISAP. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 jun. 2012.

BRASÍLIA. INMETRO. Histórico do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>>. Acesso em: 08 out. 2018.

BRASÍLIA. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. CGIEE. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cgiee>>. Acesso em: 08 out. 2018.

BRASÍLIA. Procel. PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações: Apresentação. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em: 08 out. 2018.

BRENDOLAN, R. Projeto de iluminação artificial e eficiência energética: entraves e potencialidades para aplicação do RTQ-C. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2012.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 1: método prescritivo. 2010. 20 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Labee, Florianópolis, 2010.

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CORREIO BRAZILIENSE (Brasil). Governo federal teve gasto de R\$ 2,4 bilhões com energia em 2017. Correio Braziliense. Brasília, 07 maio 2018. Economia, p. 1-2. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/05/07/internas_economia,678783/gasto-do-governo-com-energia.shtml>. Acesso em: 20 jun. 2018.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. Buildings Technologies Program. Março, 2011a. Disponível em: <https://c.ymcdn.com/sites/nfrccommunity.siteym.com/resource/resmgr/fact_sheets/buildingtchnologies_program.pdf>.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. Challenges and Opportunities To Achieve 50% Energy Savings in Homes: National Laboratory White Papers. Building Technologies Program. Julho, 2011b. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/ba_tech_roadmap.pdf>.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. DOE Building Envelopes Roadmap Workshop Meeting Notes. Florida, 2010d. Disponível em: <<http://sites.energetics.com/buildingenvelope/pdfs/BuildingEnvelopesRoadmapMeetingNotes.pdf>>.

DORNELLES, Kelen Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ELETROBRÁS. Relatório Anual. Brasília: Eletrobrás, 2017.

EPE. Balanço Energético Nacional 2018. Brasília: Epe, 2019. 296 p.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2011, v.10, 11 p.

FOSSATI, Michele; MORISHITA, Claudia; LAMBERTS, Roberto. A eficiência energética em edificações e a regulamentação brasileira. Florianópolis: Rbee - Revista Brasileira de Eficiência Energética, 2011.

GALAFASSI, Marcelo. IMPACTO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C NO PROCESSO DE PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFICAÇÕES: A VISÃO DE ARQUITETOS EM FLORIANÓPOLIS - SC. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GALASIU, A. 2007, Energy Saving Lighting Control Systems for Open-Plan Offices: A Field Study, Leukos, v. 4, no. 1, pp. 7-29

INMETRO. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislação>. Acesso em 17 de junho de 2010

LAMBERTS, Roberto; FONSECA, Raphaela Walger da; VECCHI, Renata de. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO EXEMPLO UTILIZANDO O RTQ-C. Florianópolis: Pbe Edifica, 2015. 51 p.

LAMBERTS, R; CARLO, J. Uma discussão sobre a Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações. In: Congresso de Condicionador de ar, Refrigeração, Aquecimento, e Ventilação do Mercosul, 2007.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA. 3ªed. Rio de Janeiro/RJ. Procel Edifica. 382p.

LEIPZIGER, David. Comparing Building Energy Performance Measurement: A framework for international energy efficiency assessment systems. Washington, Dc: Institute Of Market Transformation (IMT), 2013. 40 p.

Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília: Epe, 2014.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Instrução Normativa nº 02, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit.. . Brasília, 2014

MORISHITA, Claudia et al. Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. 4. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. 13 p.

PESSOA, João Lourenço Novaes; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória. Florianópolis: Cb3e - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2013. 73 p.

PORTUGAL. ADENE - Agência Para Energia. Portugal Energia (Org.). Edifícios. 2018. Disponível em: <<https://www.adene.pt/edificios/>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

PORTUGAL. Certificação Energética: Poupar Energia para Poupar Portugal. 2016. Disponível em: <<https://www.certificacaoenergetica.com/certificacaoenergetica/sce/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

PROJETO 3E (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. CURSO PARA SETOR PÚBLICO: Brasília: Quali-a, 2016. 142 slides, color.

PEZZUTO, C.C; ENCONTRO DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 5., 2015, Campinas. MEDIDAS DE REFLETÂNCIA DE MATERIAIS DE SUPERFÍCIE URBANA UTILIZANDO O ESPECTRÔMETRO PORTÁTIL ALTA. Campinas: Puc Campinas, 2016. 3 p.

ROCHA, Ana Paula de Almeida; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO A LUZ NATURAL E SISTEMAS DE CONTROLE ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2011, Búzios/RJ. Artigo. Florianópolis: Laboratório de Conforto Ambiental, 2011.

SANTA CATARINA. Dpae - Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia. Ministério da Educação. Quanto a UFSC gasta com energia elétrica? 2017. Disponível em: <<http://dpae.seoma.ufsc.br/2017/02/01/gasto-ufsc-energia-eletrica/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SANTOS, Iara Gonçalves dos; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. REVISÃO DE REGULAMENTAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UMA ATUALIZAÇÃO DAS ÚLTIMAS DÉCADAS. Caderno de Trabalho: Edição Especial, São Paulo, v. 0, n. 0, p.1-15, 09 out. 2012.

SANTOS, Iara Gonçalves dos; DORNELLES, Kelen Almeida; SOUZA, Roberta Vieira de. ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES E O REGULAMENTO BRASILEIRO PARA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. Conference Paper. São Paulo: Usp, 2010. p. 1 - 11.

SANTANA, M.V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC. 2006. 196f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SILVA, Natalia da Rosa. ANÁLISE E INTEGRAÇÃO EFICIENTE DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM UMA SALA DE AULA. 2017. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

TAUCHEN, Joel and BRANDLI, Luciana Londero. A gestão ambiental em instituições de Ensino Superior: Modelo para Implantação em Campus Universitário. 2006, vol.13, n.3.